



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

Título de Proyecto

EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL SISTEMA DE ISLAS FLOTANTES ARTIFICIALES (IFA) CON PASTO GUINEA (*Panicum maximum*) A TRAVÉS DE UN MODELO MATEMÁTICO, PERIODO 2019 – 2020.

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniería en Medio Ambiente.

Autores:

Aragón López Erick Gabriel.

Morales Sánchez María José.

Tutor:

PhD. Ilbay Yupa Mercy Lucila.

Latacunga – Ecuador

Febrero 2020.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Erick Gabriel Aragón López y María José Morales Sánchez declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL SISTEMA DE ISLAS FLOTANTES ARTIFICIALES (IFA) CON PASTO GUINEA (*Panicum maximum*) A TRAVÉS DE UN MODELO MATEMÁTICO, PERIODO 2019 – 2020”, siendo la PhD. Mercy Lucila Ilbay Yupa, tutora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

.....
Erick Gabriel Aragón López

C.I. 172186320-5

.....
María José Morales Sánchez

C.I. 180533023-8

.....
Tutor

PhD. Mercy Lucila Ilbay Yupa

C.I. 060414790-0

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte ERICK GABRIEL ARAGÓN LÓPEZ con C.I. 172186320-5, de estado civil SOLTERO y con domicilio en Quito, Pichincha; MARÍA JOSÉ MORALES SÁNCHEZ con C.I. 180533023-8, de estado civil SOLTERA y con domicilio en Ambato, Tungurahua, a quienes en lo sucesivo se denominarán **LOS CEDENTES** y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **EL CESIONARIO** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. – **LA/EL CEDENTE**, es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado Proyecto de Investigación la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial Académico: Abril 2015 – Febrero 2020

Aprobación CD: 15 de noviembre del 2019

Tutor. PhD. Mercy Lucila Ilbay Yupa

Tema: “EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL SISTEMA DE ISLAS FLOTANTES ARTIFICIALES (IFA) CON PASTO GUINEA (*Panicum maximum*) A TRAVÉS DE UN MODELO MATEMÁTICO, PERIODO 2019 – 2020”

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA, es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA/EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA/EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA/EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA/EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA/EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad.

El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y temor en la ciudad de Latacunga el 17 de febrero del 2020.

.....

Aragón López Erick Gabriel

.....

Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez

EL CESIONARIO

.....

Morales Sánchez María José

Latacunga, 07 de febrero del 2020

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“Evaluación de la remoción de contaminantes del sistema de Islas Flotantes Artificiales (IFA) con Pasto Guinea (*Panicum maximum*), a través de un modelo matemático”, del sr. Erick Gabriel Aragón López y la srta. María José Morales Sánchez, estudiantes de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

.....

PhD. Mercy Lucila Ilbay Yupa

C.C. 0604147900

Latacunga, 07 de febrero del 2020

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Lectores del Proyecto de Investigación con el título:

“Evaluación de la remoción de contaminantes del sistema de Islas Flotantes Artificiales (IFA) con Pasto Guinea (*Panicum maximum*), a través de un modelo matemático”, del sr. Erick Gabriel Aragón López y la Srta. María José Morales Sánchez, estudiantes de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

.....

Lector 1 (Presidente/a)

MSc. Kalina Marcela Foncesa Largo
C.C. 172353445-7

.....

Lector 2

Ing. José Luis Ágreda Mg
CC: 040133210-1

.....

Lector 3

Ing. Joseline Luisa Ruiz Depablos Mg.
CC: 175873906-2

AGRADECIMIENTO

A mis padres Segundo y Gerardina que, gracias a su ejemplo de trabajo duro, disciplina y responsabilidad se logran todos los propósitos en la vida.

A Ramirito, Galito y Katty que gracias a sus consejos y valores morales y espirituales me han permitido llegar a culminar uno de muchos más logros profesionales.

A mis hermanos Sebastián, Melanie, mis primos Bryan y Mateo por haberme brindado el cariño y apoyo incondicional.

A todos y cada uno de mis docentes por compartir sus conocimientos y enseñanzas ya que sin ellos no hubiese sido posible realizar el presente estudio de investigación.

Autor:

Erick Gabriel Aragón López

AGRADECIMIENTO

A Dios, ese ser maravilloso que me dio fuerza para terminar esta hermosa profesión y poden impartir mis conocimientos.

A mi madre y hermana, por ser el eje fundamental en mi vida, quienes me guían hacia la excelencia, mi gratitud eterna.

A mi tía Katty, por brindarme su amor, complicidad y apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

A la persona que con su inmenso amor cuido de mí y mis conocimientos siempre, y que desde el cielo sé que estará orgulloso de este triunfo, mi abuelito Jaime.

A todos mis familiares en especial a mi papá Gonzalo, a mi abuelita Anita, mis tíos Esther, Lidia Marcia y Héctor, a mis sobrinas Salome y Ana Pula, y mis primas Gaby y Mishu, por su respaldo incondicional.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, a sus autoridades y docentes, que con paciencia y sabiduría supieron instruirme para ser una gran profesional.

¡Gracias Totales!

Autora:

María José Morales Sánchez

DEDICATORIA

A Dios y mis padres Segundo Aragón y Gerardina Fiallos por haberme instruido, apoyado y motivado en la culminación de este logro profesional y el ejemplo como padres y personas de honor.

Autor:

Erick Gabriel Aragón López

A Dios por su fidelidad, a mi madre Ruth Alejandra Sánchez Manobanda, a mi tía Katty Patricia Sánchez Manobanda, por ser las promotoras de todos mis logros personales y profesionales a lo largo de mi vida, y a mi abuelito Hugo Jaime Sánchez Cevallos, siempre estarás en mi corazón.

Autora:

María José Morales Sánchez

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TITULO: EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL SISTEMA DE ISLAS FLOTANTES ARTIFICIALES (IFA) CON PASTO GUINEA (*Panicum maximum*) A TRAVÉS DE UN MODELO MATEMÁTICO, PERIODO 2019 – 2020.

Autores:

Aragón López Erick Gabriel.

Morales Sánchez María José.

RESUMEN

Las islas flotantes artificiales (IFA) son una alternativa ecotecnológica e innovadora diseñada para la captación de contaminantes presentes en los cuerpos de agua. El desarrollo de la investigación tuvo como objetivo evaluar el pasto guinea (*Panicum maximum*) como posible especie para la fitorremediación de aguas contaminadas con exceso de nutrientes. La evaluación de remoción se analizó en base a cuatro parámetros: nitratos (NO_3), fosfatos (PO_4), demanda bioquímica del oxígeno (DBO_5) y potencial de hidrogeno (pH), cada 21 días durante un periodo de 3 meses. Mediante la aplicación de la ecuación de remoción de carga contaminante, se obtuvo como resultado el 91% de NO_3 y 0% de PO_4 . Además, el modelo matemático de regresión lineal simple determinó que a partir de los 16 días el pasto comenzó con el 4.28% de remoción de NO_3 , a través del programa computacional RStudio, que relaciona el tiempo con la remoción.

Palabras clave: IFA, *Panicum maximum*, fitorremediación, nitratos, fosfatos.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TITLE: EVALUATION OF POLLUTANTS REMOVAL FROM THE ARTIFICIAL FLOATING ISLANDS (IFA) SYSTEM WITH GUINEA GRASS (*Panicum maximum*) THROUGH A MATHEMATICAL MODEL, 2019 - 2020 PERIODO.

Autores:

Aragón López Erick Gabriel.

Morales Sánchez María José.

ABSTRACT

Artificial floating islands (AFI) are an ecotechnological and innovative alternative designed to capture pollutants present in water bodies. The objective of the current research work was to evaluate the Guinea grass (*Panicum maximum*) as possible specie for phytoremediation of contaminated water with excess nutrients. The removal evaluation was analyzed every 21 days for a period of 3 months, based on four parameters: nitrates (NO_3), phosphates (PO_4), biochemical oxygen demand (BOD_5) and hydrogen potential (pH). Applying pollutant charge removal equation, 91% of NO_3 and 0% of PO_4 were obtained as result. In addition, the simple linear regression mathematical model determined that, after 16 days, the grass began with the 4.28% removal of NO_3 , through the RStudio computer program, which relates time to removal.

Keywords: AFI, Guinea grass, phytoremediation, nitrate, phosphate.

ÍNDICE GENERAL

1.	INFORMACIÓN GENERAL.....	1
3.	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
4.	BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	4
5.	EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	5
6.	OBJETIVOS	6
6.1.	Objetivo General	6
6.2.	Objetivos Específicos	6
7.	ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	7
8.	FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TEÓRICA	8
8.1.	Recurso Hídrico.....	8
8.1.1.	Calidad	8
8.1.2.	Contaminación.....	9
8.2.	Aguas Residuales	9
8.2.1.	Aguas Residuales Industriales	9
8.2.2.	Aguas Residuales Domesticas	10
8.2.3.	Aguas Residuales Agrícolas	10
8.2.4.	Aguas Residuales Municipales	10
8.3.	Demanda Bioquímica del Oxígeno.....	10
8.4.	Potencial de Hidrogeno	11
8.5.	Fosforo	12
8.5.1.	Ciclo del fosforo	12
8.6.	Nitrógeno.....	13
8.6.1.	Ciclo del Nitrógeno	13
8.7.	Efectos de los nitratos y fosfatos en el medio hídrico	14
8.7.1.	Fosfatos	15
8.7.2.	Nitratos	15
8.8.	Eutrofización	16
8.9.	Fitorremediación como alternativa para la descontaminación del agua	16
8.9.1.	Funciones de las plantas en los procesos de fitorremediación	17
8.9.2.	Procesos d la fitorremediación.....	17

8.10.	Islas Flotantes Artificiales	18
8.10.1.	Funcionamiento	19
8.10.2.	Mecanismos de eliminación de contaminantes	19
8.10.3.	Estructura	20
8.10.4.	Condiciones ambientales en las IFA	21
8.11.	Pasto Guinea (<i>Panicum maximum</i>)	21
8.11.1.	Origen y distribución	21
8.11.2.	Descripción Morfológica	22
8.11.3.	Clasificación taxonómica	22
8.11.4.	Características principales	23
8.11.5.	Rasgos Fisiológicos	23
8.11.6.	Fenología	24
9.	VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS	25
10.	METODOLOGÍA/ DISEÑO EXPERIMENTAL	26
10.1.	Área de estudio	26
10.2.	Muestro del canal de riego de la microcuenca del río Cutuchi (MRC)	26
10.3.	Ubicación del ensayo (tinas)	27
10.4.	Instalación del sistema	27
10.4.1.	Construcción de la matriz flotante	27
10.4.2.	Ensamblado de la matriz flotante	27
10.4.3.	Aplicación del sustrato en la matriz flotante	28
10.5.	Incorporación del pasto guinea (<i>Panicum maximum</i>) al sistema	28
10.6.	Protocolo de muestreo	29
10.7.	Determinación del porcentaje de remoción de contaminantes	29
10.8.	Correlación entre el crecimiento de la planta y los contaminantes	30
10.9.	Modelo de regresión lineal simple	30
11.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	31
11.1.	Desarrollo del pasto guinea (<i>Panicum maximum</i>)	31
11.1.1.	Etapas de germinación y adaptación al sistema IFA	31
11.2.	Crecimiento aéreo y radicular del pasto guinea	31
11.3.	Porcentaje de remoción de nitratos y fosfatos	32
11.3.1.	Nitratos	32
11.3.2.	Fosfatos	33
11.4.	Correlación entre el crecimiento de la planta con los parámetros analizados	35

11.4.1.	Crecimiento aéreo	35
11.4.2.	Crecimiento radicular	36
11.5.	Determinación de un modelo de regresión lineal	37
11.5.1.	Ecuación lineal para nitratos	37
12.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)	39
12.1.	Técnicos	39
12.2.	Ambientales	39
12.3.	Económicos	39
13.	PRESUPUESTO	40
14.1.	Conclusiones	41
14.2.	Recomendaciones	41
15.	REFERENCIAS	42
	ANEXOS	1

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación	4
Tabla 2. Actividades relacionadas a los objetivos	7
Tabla 3. Taxonomía del Pasto Guinea	22
Tabla 4. características principales del Pasto Guinea	23
Tabla 5. Resultados de los monitoreo del canal de riego del río Cutuchi.....	27
Tabla 6. características y proporciones de los sustratos.	28
Tabla 7. Promedio del crecimiento aéreo y radicular del pasto guinea	32
Tabla 8. Porcentaje de remoción de nitratos	33
Tabla 9. Porcentaje de remoción de fosfatos	33
Tabla 10. Porcentaje de remoción y promedio de los parámetros de calidad.....	37
Tabla 12. Presupuesto para la implementación del proyecto IFAS	40
<i>Anexos</i>	
Tabla 13. Crecimiento aéreo y radicular del pasto guinea.....	11
Tabla 14. correlación entre el crecimiento aéreo, nitratos, DBO5, y pH.....	11
Tabla 15. correlación entre el crecimiento radicular, nitratos, DBO5, y pH	11
Tabla 16. Correlación entre el tiempo, contaminantes y parámetros de calidad.	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Concentración del oxígeno residual.	11
Figura 2. Ciclo del fósforo	13
Figura 3.Ciclo del nitrógeno	14
Figura 4. Proceso de eutrofización.	16
Figura 5. Procesos de la fitorremediación.	18
Figura 6. Funcionamiento de las IFA. Extraído de Fonseca.....	19
Figura 7. Descripción botánica de <i>Panicum maximum</i>	22
Figura 8. Sitio de muestreo y ubicación del ensayo.....	26
Figura 9. Etiqueta de identificación de las muestras de agua del sistema IFA.	29
Figura 10. Diagrama de dispersión del crecimiento aéreo.....	35
Figura 11. Diagrama de dispersión del crecimiento radicular	36
<i>Anexos</i>	
Figura 12. Sistema IFA	7
Figura 13. Ensamblado de la matriz flotante	7
Figura 14. Implementación del sustrato; pomina gruesa, pomina fina y humus	8
Figura 15. Incorporación del Pasto Guinea al Sistema	8
Figura 16. Crecimiento de rizoma del Pasto Guinea.	9
Figura 17. Medida y colocación de los contaminantes	9
Figura 18. Toma de muestras.....	10
Figura 19. Envasado y etiquetado de muestras	10
Figura 20. Codificación programa Rstudio.....	13
Figura 21. Ecuación NO_3	13

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Tasa de remoción de nitratos	33
Gráfico 2. Tasa de remoción de fosfatos	34

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título

Evaluación de la remoción de contaminantes del sistema de islas flotantes artificiales (IFA) con Pasto Guinea (*Panicum maximum*) a través de un modelo matemático.

Lugar de ejecución

Universidad Técnica de Cotopaxi, Campus Salache, Latacunga, Cotopaxi, Zona 3.

Institución, unidad académica y carrera que auspicia

Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Ingeniería Ambiental.

Nombres de equipo de investigadores

Coordinador del proyecto: Ing. M.Sc. Kalina Fonseca

Tutor de titulación: PhD. Ilbay Yupa Mercy Lucila.

Estudiantes: Aragón López Erick Gabriel y Morales Sánchez María José

Área de conocimiento

Ambiente, Manejo de Recursos Hídricos

Línea de investigación

Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local.

2. RESUMEN DEL PROYECTO

Las islas flotantes artificiales (IFA) son una alternativa ecotecnológica e innovadora diseñada para la captación de contaminantes presentes en los cuerpos de agua. El desarrollo de la investigación tuvo como objetivo evaluar el pasto guinea (*Panicum maximum*) como posible especie para la fitorremediación de aguas contaminadas con exceso de nutrientes. La evaluación de remoción se analizó en base a cuatro parámetros: nitratos (NO_3), fosfatos (PO_4), demanda bioquímica del oxígeno (DBO_5) y potencial de hidrogeno (pH), cada 21 días durante un periodo de 3 meses. Mediante la aplicación de la ecuación de remoción de carga contaminante, se obtuvo como resultado el 91% de NO_3 y 0% de PO_4 . Además, el modelo matemático de regresión lineal simple determinó que a partir de los 16 días el pasto comenzó con el 4.28% de remoción de NO_3 , a través del programa computacional RStudio, que relaciona el tiempo con la remoción.

Palabras clave: IFA, *Panicum maximum*, fitorremediación, nitratos, fosfatos.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El agua es un recurso natural renovable en el que su calidad y cantidad determinan un nivel de vida y bienestar humano, puesto que la economía mundial, nacional y local depende mayoritariamente del acceso y la distribución de la misma. Sin embargo, el desarrollo de actividades industriales y el deficiente tratamiento, alteran las propiedades normales del agua.

Una de las mayores causas de contaminación del agua es la presencia de grandes concentraciones de fosfatos y nitratos provenientes de distintas actividades (agrícolas e industriales). y a pesar que el nitrógeno y fosforo son nutrientes que forman parte del medio acuático, aportando al crecimiento de algas y plantas, que brindan alimento para los organismos acuáticos. Pueden acarrear una serie de problemas que afectan al ecosistema, y a la salud humana.

No obstante, el avance de la tecnología para su remediación ha mejorado con el transcurso del tiempo, todavía es un limitante debido a los elevados costos de construcción, operación y mantenimiento. Es por ello que la gestión responsable y sostenible del agua es el motor esencial para un nivel óptimo de calidad de vida, el mejoramiento de la economía y la generación de empleo.

La fitorremediación es la aplicación de tecnología rentable y sostenible en el que la especie vegetal almacena y elimina sustancias tóxicas como: metales pesados, compuestos orgánicos e inorgánicos durante toda su fase de vida mediante procesos metabólicos. El uso de estas técnicas permite que las concentraciones en el agua estén por debajo de los límites permisibles establecidos por las agencias de control ambiental. Es por ello, que el sistema de islas flotantes artificiales (IFA) es idóneo para cualquier cuerpo de agua, ya que al preservar el estado natural del ambiente no genera impactos negativos que afecten a organismos vivos.

Las IFA funcionan a través de la fitorremediación y la hidroponía, una fusión de tecnología de fácil construcción e instalación para la remoción de contaminantes que afectan la calidad del agua, mediante especies vegetativas, como en este caso el Pasto Guinea (*Panicum maximum*), que, a pesar de no ser una especie nativa de la región, ha demostrado en un sinnúmero de investigaciones un óptimo rendimiento en la depuración de aguas contaminadas.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Tabla 1. Beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación

Directos	Hombres	Mujeres	Indirectos	Hombres	Mujeres
Pobladores de la Microcuenca del río Cutuchi MRC	110,181	118,524	Secretaría del agua SENAGUA	5	7
			Ministerio del Ambiente	10	15
			Gobiernos Autónomos Descentralizados	4	7
TOTAL	228,705		TOTAL	48	

Fuente: INEC 2010

Elaborado por: Autores, 2020

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La alta demanda de los recursos hídricos en el Ecuador para satisfacer necesidades de las actividades agrícolas, industriales y municipales, desencadenan una serie de problemas de distribución y control en su calidad. De acuerdo al informe del Banco Internacional de Desarrollo, presentado en el Foro Mundial del Agua en el año 2018, la extracción de agua pertenece en un 81% al sector agropecuario, 6% industrial, y el 13% municipal. Donde, el 70% de las aguas residuales son canalizados a los sistemas de alcantarillado y solo el 55.8% de las descargas tienen un tratamiento previo, mientras que el 44.2% se descargan hacia pozos sépticos, canales o a su vez directamente a los cuerpos de agua, contaminándola y poniendo en riesgo la biodiversidad y salud de la población, según datos de la Secretaría del Agua.

Una de las principales causas de la contaminación hídrica es el intensivo crecimiento de la agricultura y explotación ganadera, generado por el uso desmedido de fertilizantes, abonos químicos inorgánicos, detergentes, y por la descomposición de la materia orgánica, ocasionando la filtración de contaminantes (fosfatos y nitratos) por la escorrentía hacia aguas superficiales y subterráneas. Pese a que el fósforo y el nitrógeno son nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas y forman parte del medio acuático, en altas concentraciones son altamente tóxicos además de provocar un desequilibrio en los nutrientes liberados en el agua origina condiciones hipoxicas acelerando el proceso de eutrofización.

La eutrofización es uno de los problemas ambientales más significativos de las aguas en ríos, lagos, y embalses, que se da por el enriquecimiento de nutrientes en un ecosistema acuático, ocasionando un crecimiento excesivo de malezas acuáticas y fitoplancton que cubren la superficie del agua y evitan que la luz solar llegue a las capas inferiores y en consecuencia la vegetación muere al no poder realizar la fotosíntesis, y a su vez los microorganismos se alimentan de la materia muerta consumiendo el oxígeno que necesitan los peces y moluscos, deteriorando continuamente los ecosistemas acuáticos.

Además, ciertas algas producto del estado de eutrofización del agua pueden producir brotes tóxicos al sistema acuático, estas sustancias ocasionan la muerte de animales al ser consumidas. Y los animales afectados pueden a su vez, actuar como vector afectando a otras especies y alcanzar a los humanos. Acarreando problemas de salud y económicos como la producción piscícola de la zona.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo General

Evaluar la remoción de contaminantes del sistema de islas flotantes artificiales (IFA) con Pasto Guinea (*Panicum maximum*) a través de un modelo matemático.

6.2. Objetivos Específicos

- Determinar el porcentaje de remoción de fosfatos y nitratos, mediante el análisis de campo y laboratorio.
- Establecer la correlación que existe entre el crecimiento de la planta con el porcentaje de remoción y parámetros de calidad.
- Aplicar un modelo de regresión lineal simple en base a la correlación existente entre el tiempo, contaminantes y parámetros de calidad.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2. Actividades relacionadas a los objetivos

Objetivo	Actividad	Resultado	Metodología
Determinar el porcentaje de remoción de fosfatos y nitratos, mediante el análisis de campo y laboratorio.	Calcular el porcentaje de remoción de los contaminantes en base a los resultados de los monitoreos del agua.	Porcentaje de remoción de fosfatos y nitratos.	Toma de muestras. Ecuación de remoción de carga contaminante.
Establecer la correlación que existe entre el crecimiento de la planta con el porcentaje de remoción y parámetros de calidad.	Recopilar información del crecimiento aéreo y radicular de la planta.	Diagramas de dispersión en Excel.	Correlación entre los datos del crecimiento de la planta, porcentajes de remoción (NO_3 y PO_4), además de los parámetros de calidad (DBO_5 y pH).
Aplicar un modelo de regresión lineal simple en base a la correlación existente entre el tiempo, contaminantes y parámetros de calidad.	Determinar la ecuación de la remoción de NO_3 y PO_4 .	Ecuación de regresión lineal simple.	Mediante el software Rstudio en conjunto con la base de datos se determinó la correlación entre el tiempo, porcentaje de remoción y los parámetros de calidad.

Elaborado por: Autores, 2020.

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TEÓRICA

8.1. Recurso Hídrico

El agua es uno de los recursos naturales más indispensables para la vida misma, ya que constituye las tres cuartas partes de la superficie del planeta, y la mayor parte de la composición de los seres vivos, por ejemplo, el “contenido hídrico en el cuerpo humano es del 75%” (Salazar, 2015, p. 21).

El agua es un componente esencial de las economías nacionales y locales, y es necesaria para crear y mantener los puestos de trabajo en todos los sectores de la economía. La mitad de la mano de obra mundial esta empleada en ocho sectores que dependen del agua y de los recursos naturales: agricultura, bosques, pesca, energía, producción con uso intensivo de recursos, reciclaje, construcción y transporte (UNESCO, 2016, p. 15).

Unas de las características más importantes de este recurso es su cambio de estado físico, que se produce debido a que “se adapta al ambiente, cambiante de hielo a nieve y lluvia a niebla. Su transformación nunca termina: empujada por los vientos, su temperatura cambia por la energía del sol, por la gravedad y por los movimientos del planeta en un proceso continuo de evaporación y precipitación” (Hadley et al., 2015, p. 7). a este último proceso se lo conoce como ciclo hídrico, siendo “(...) un proceso bioquímico mediante el cual el agua circula en los distintos compartimientos de la hidrosfera (...)” (L. Rodríguez & Solajo, 2016, p. 8). dando paso a la fácil regeneración natural del agua por medio de la filtración.

8.1.1. Calidad

En cuanto a la calidad, de acuerdo al (Libro Blanco del Agua en España, 2000), está relacionada con aquellas condiciones que deben darse en el agua para que esta mantenga un ecosistema equilibrado. Por otro lado, se define como el conjunto de “(...) características físicas, químicas y biológicas (...) y/o atributos de manera tal, que reúna criterios de aceptabilidad para los diversos usos o actividades a la que se destinara” (Ramos, 2015, p. 3). Todas estas condiciones varían según el uso que se le dé a este recurso, es decir, el agua que es destinada para consumo humano no tiene las mismas cualidades que el agua destinada para riego agrícola.

Es por ello que “la conservación de la calidad del agua dulce es importante para el suministro de agua de bebida, la producción de alimentos y el uso recreativo. La calidad del agua puede verse comprometida por la presencia de agentes infecciosos, productos de químicos tóxicos y

radiaciones” (OMS, 2016). Además, “la gestión sostenible del agua (...) y el acceso a un suministro seguro, fiable y asequible de agua y servicios de saneamiento adecuados mejoran el nivel de vida, expanden las economías locales y promueven la creación de puestos de trabajo más dignos (...) la gestión sostenible del agua es también un motor esencial para el crecimiento verde y el desarrollo sostenible” (UNESCO, 2016, p. 16).

8.1.2. Contaminación

La contaminación del agua se define como “la acumulación de sustancias tóxicas y derrames de fluidos en un sistema hídrico (río, mar, cuenca, etc.) alterando la calidad del agua (...) las sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracteriza a un curso de agua, al ser excedidos causan o pueden causar daños a la salud y al ambiente” (Contreras et al., 2016, p. 16). Dicha alteración a la composición natural del agua es provocada generalmente por el hombre y por la falta de tratamiento de las aguas residuales provenientes de los sectores industriales, agropecuarios, municipal y doméstico.

A pesar que el recurso hídrico es capaz de regenerarse por sí mismo, la liberación desenfrenada de contaminantes al agua “superan su capacidad de absorber y neutralizar esta carga contaminante, y por ello estas masas de agua han perdido sus condiciones naturales de apariencia física” (Pimentel, 2017, p. 1). deteriorándolas al punto de poner en riesgo la biodiversidad de su ecosistema.

8.2. Aguas Residuales

Las aguas residuales pueden definirse como “una combinación de los desechos líquidos procedentes de viviendas, instituciones y establecimientos comerciales e industriales, junto con las aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que puedan agregarse a las anteriores (...) es por ello necesario conocer los contaminantes presentes en estas aguas con el fin de aplicar un tratamiento adecuado que evite la degradación y contaminación de los cauces” (Poveda, 2014, p. 33).

Según la (OEFA, 2014) las aguas residuales se clasifican de acuerdo a su procedencia: industrial, domésticas, municipales y agrícolas. Detalladas a continuación:

8.2.1. Aguas Residuales Industriales

Son líquidos generados en los procesos industriales, que tienen características específicas conforme el tipo de industria (Blazquez & Montero, 2010, p. 6). Por lo tanto, pueden contener

gran variedad de elementos como; solventes, grasas, metales, barros, colorantes, etc. Es decir que su peligrosidad es variable (Poveda, 2014, p. 54).

8.2.2. Aguas Residuales Domesticas

Son aquellas de origen residencial y comercial (baños, cocinas, lavanderías, etc.) que contiene desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana. “consisten básicamente en residuos humanos que llega a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares” (Blazquez & Montero, 2010, p. 6).

8.2.3. Aguas Residuales Agrícolas

Constituyen una mezcla de aguas de riego de las tierras y el manejo del ganado. Por lo general las aguas en uso agrícola contienen grandes cantidades de nitritos, fosfatos y compuestos de amonio, que se da por el uso de fertilizantes. “Además, estas aguas al recoger los residuos de ganado, van a estar fuertemente cargadas de material fecal” (Espigares & Pérez, s. f., p. 21).

8.2.4. Aguas Residuales Municipales

Son aquellas aguas residuales domesticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial, o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado (OEFA, 2014).

“La presencia de cantidades excesivas de materia orgánica, nutrientes, metales pesados y sustancias químicas en el agua constituye uno de los más inquietantes problemas a lo que están confrontados la mayoría de los países del mundo”(Garzón-Zúñiga et al., 2012). Es por ello que es indispensable priorizar el tratamiento de las aguas residuales provenientes de zonas industriales, urbanas, y agropecuarias, previas a ser descargadas a un cuerpo de agua.

“El tratamiento de aguas residuales se lleva a cabo mediante procesos físicos, químicos y biológicos. Dentro de los procesos biológicos se encuentran los procesos anaerobios, (...) que puede remover hasta un 90% de materia orgánica” (Escalante et al., 2015, p. 2).

8.3. Demanda Bioquímica del Oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) “es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las

aguas municipales, industriales y en general residual (...)” (Quinto & Yépez, 2018, p. 24). Entre mayor sea la cantidad de materia orgánica en un cuerpo de agua, mayor será la inestabilidad de este, debido a la reducción de oxígeno, creando condiciones de deterioro en la vida acuática y otros usos prioritarios del agua. Se ha tomado como tiempo de biodegradación de la muestra un tiempo de 5 días. Generalmente este es el tiempo que se requiere para que las bacterias digieran la materia orgánica biodegradable (Rocha, 2010).

El alto contenido orgánico favorece el crecimiento de bacterias y hongos. El oxígeno utilizado para la oxidación de la materia orgánica, consume el oxígeno utilizado para el desarrollo de la fauna y flora acuática. Entre los efectos al ecosistema, se encuentra el cambio en la calidad del agua, y la posible elevación del pH, provocando la desaparición de peces y plantas. (...) A mayor cantidad de materia orgánica contenida en una muestra de agua, más cantidad de oxígeno necesitan los microorganismos para oxidarla o degradarla. La actividad biológica es provocada por los microorganismos en condiciones aeróbicas, dando como consecuencia que la materia orgánica pierda sus propiedades contaminantes. Aquí existe el intercambio de oxígeno del aire con el agua (Raffo Lecca & Ruiz Lizama, 2014, pp. 7-8).

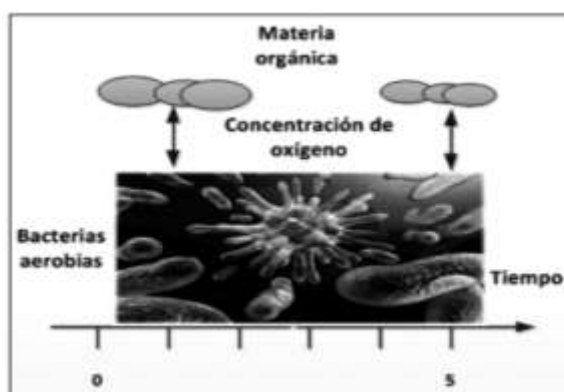


Figura 1 Concentración del oxígeno residual. Dibujo extraído de Ratto& Ruiz, 2014.

8.4. Potencial de Hidrogeno

“El pH es un término de uso general para expresar la magnitud de acidez o alcalinidad, es una forma de expresar la concentración de los iones de hidrogeno o, más exactamente la actividad del ion hidrogeno” (Sawyer et al., 2011)

Los iones de hidrogeno determinan el nivel de acides o alcalinidad de los líquidos, se mide en una escala que va desde 0 a 14, cuando la sustancia es neutra en la escala tiene un valor de

7, por otro lado, los valores menores a 7 indican una tendencia a la acidez, y valores mayores a 7 indican una inclinación a la alcalinidad (Mansilla, 2013).

La variación de los valores del pH ya sean altos o bajos son considerados tóxicos para los organismos acuáticos, bien sea directa o indirectamente, afectando su desarrollo normal (INEN, 2014).

La mayoría de lagos y estanques conservan un pH entre 5.9 y 8.9. Sin embargo, existen factores bióticos que se relacionan con los cambios de pH, por ejemplo, cuando las bacterias oxidan compuestos de azufre o nitrógeno inorgánico, se forma H_2S , SO_4^{2-} y NO_3^- reduciendo la alcalinidad. Por otra parte, cuando una macrofita absorbe NO_3^- y además ocurre reducción de SO_4^{2-} y NO_3^- por acción bacteriana, aumenta la alcalinidad (Velásquez, 2019, p. 29).

8.5. Fósforo

El fósforo es uno de los diecinueve elementos considerados como esenciales para la vida de las plantas. Constituye un componente primario de los sistemas responsables de la captación, almacenamiento y transferencia de energía, y es componente básico en las estructuras de macromoléculas (...) tales como ácidos nucleicos, y fosfolípidos, por lo que se puede decir que su papel está generalizado en todos los procesos fisiológicos. En el sistema suelo- planta, el 90% del fósforo está en el suelo y menos el 10% se encuentra repartido fuera del suelo. Sin embargo, solo una pequeña parte de ese 90% es utilizada por las plantas (Fernández, 2007, p. 2).

8.5.1. Ciclo del fósforo

El fósforo en forma elemental es muy tóxico. Los fosfatos (PO_4^{3-}) se forman a partir de este elemento. Su presencia en humedales puede provenir de la separación de pesticidas orgánicos que contienen fosfatos. También puede existir en solución, como partículas, fragmentos, o cuerpos de organismos acuáticos. El fósforo orgánico disuelto, es rápidamente descompuesto por microorganismos y asimilado por los organismos fotosintéticos. La liberación del fósforo en el medio acuático se acelera con el aumento de la temperatura (Sánchez et al., 2012) (Valdés & Cano-Santana, 2005).



Figura 2. Ciclo del fósforo: 1 Descomposición de materia orgánica; 2 Mineralización; 3 Fijación; 4 Liberación-Reducción. Dibujo extraído de Luévano, 2016.

8.6. Nitrógeno

El nitrógeno (N) es un nutriente esencial para los seres vivos, ya que es uno de los constituyentes principales de compuestos vitales (...). Debido a la importancia del N en las plantas (...) se lo clasifica como macronutriente. En la naturaleza existen dos fuentes principales de reserva de N para las plantas, la mayor es la atmósfera, en el cual el 78% del aire es N (...) y la otra reserva es la materia orgánica del suelo (Perdomo & Barbazán, s. f., p. 5).

8.6.1. Ciclo del Nitrógeno

“El nitrógeno sufre el proceso de oxidación – reducción que involucra la oxidación de la forma reducida de nitrógeno amoniacal (NH_4^+), o reducir las formas altamente oxidadas como el nitrato (NO_3^-). Algunas reacciones de oxidación reducción ocurren primordialmente bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas” (van der Valk, 2012). Las reacciones de la biotransformación más importantes del ciclo del nitrógeno (ver fig. 3)

Fijación. El gas nitrógeno (N_2) es convertido en NH_4^+ . En los humedales existen bacterias aerobias, anaerobias y cianobacterias fijadoras de nitrógeno las cuales se encuentran en la columna del agua y en el suelo. Estas encargadas de la fijación del nitrógeno, poseen estructuras especializadas que contienen una enzima llamada Nitrogenasa, esta enzima les ayuda a fijar el nitrógeno atmosférico y transformarlo. Las estructuras que contienen Nitrogenasa sirven de protección cuando los microorganismos se desarrollan en presencia del oxígeno, de lo contrario, sufrirían rompimiento debido a que el oxígeno presenta propiedades oxidantes (van der Valk, 2012).

Nitrificación. Consiste en la conversión de NH_4^+ a NO_3^- . Ocurre bajo condiciones aerobias en donde el NH_4^+ es oxidado a NO_2^- por bacterias del género Nitrosomas y el NO_2^- es oxidado

a NO_3^- por bacterias del género *Nitrobacter*. Normalmente el NH_4^+ se encuentra de forma anaerobia en el suelo de los humedales y algunas veces en toda la columna de agua por difusión del suelo (Brönmark & Hansson, 2005).

Desnitrificación. Consiste en la conversión del NO_3^- a nitrógeno gaseoso (N_2) u óxido nitroso (N_2O). cuando el NO_3^- se difunde en zonas anaerobias, no puede ser usado como terminal aceptor de electrones en la respiración anaerobia por muchos grupos de bacterias, incluyendo las facultativas. La desnitrificación remueve permanentemente el nitrógeno de los humedales (Luévano, 2016, p. 42).

Amonificación. En la conversión del nitrógeno orgánico a NH_4^+ por acción de bacterias, puede ocurrir bajo ciertas condiciones aerobias o anaerobias, consiste en moléculas complejas que contienen nitrógeno como las proteínas, en las que las bacterias descomponen los aminoácidos de las proteínas liberando NH_4^+ (Brönmark & Hansson, 2005).

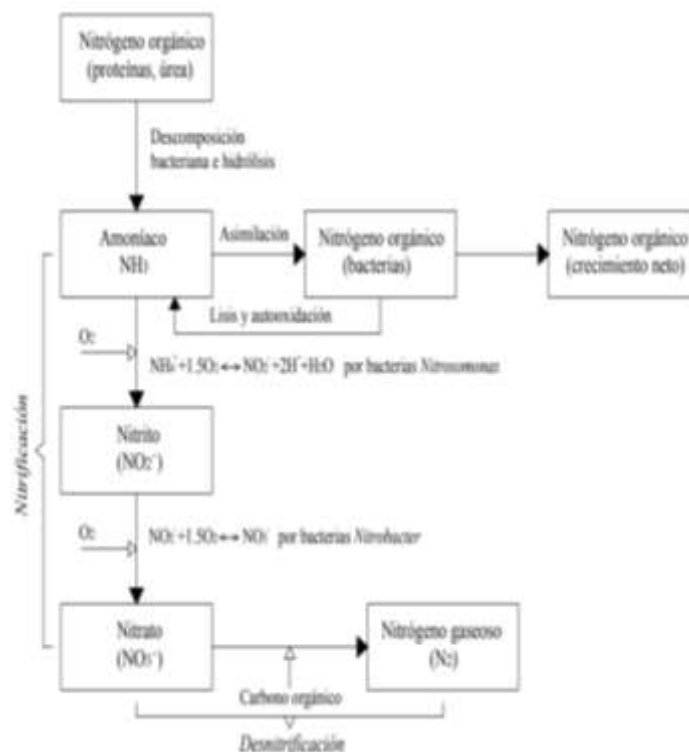


Figura 3. Ciclo del nitrógeno: Transformación de varias formas de N en procesos de tratamiento biológico. Dibujo extraído de Cárdenas & Sánchez, 2013.

8.7. Efectos de los nitratos y fosfatos en el medio hídrico

En los últimos años la concentración de nitratos y fosfatos en los cuerpos de agua, ha aumentado a raíz del crecimiento del sector agrícola, “(...) los nitratos, nutriente que más frecuentemente

contamina los acuíferos y por otro lado la presencia de fósforo en el agua puede ser debida a los agroquímicos fosforados y al aporte de fertilizantes” (S. Rodríguez et al., 2016, p. 1) ocasionando la polución y eutrofización del agua.

8.7.1. Fosfatos

Los fosfatos se encuentran en bajas concentraciones en aguas naturales que no han sido alteradas por la actividad humana, lo cual mantiene controlado el crecimiento de las microalgas. sin embargo, la excesiva cantidad de fosfatos en un cuerpo de agua se convierte en un problema ya que el exceso de nutrientes genera la eutrofización que es la proliferación de algas y puede llegar a tener efectos tóxicos en los seres vivos que interactúan entre ellos.

“Los compuestos de fósforo que se encuentran en las aguas residuales o se vierten directamente a las aguas superficiales provienen de fertilizantes eliminados del suelo por el agua o el viento; excreciones humanas y animales; detergentes y productos de limpieza” (Muñoz, 2016, p. 19).

Según (A. Muñoz, 2008, p. 57) asegura que “ la descarga de 1 gr de fósforo , en un lago, puede permitir la formación de más de 100 gr de biomasa (materia orgánica), la cual puede representar un DBO de 150 gr de oxígeno para su oxidación aerobia completa, además de los problemas de eutrofización y crecimiento de Fitoplancton”

8.7.2. Nitratos

“Los nitratos existentes en el agua son, habitualmente, consecuencia de una nitrificación de nitrógeno orgánico o proceden de la disolución de los terrenos atravesados por el agua. Como contaminantes debido a actividades humanas provenientes de contaminación orgánica o de la contaminación por abonos químicos”(F. Muñoz, 2016, p. 19). La OMS incluye a los nitratos como nocivos para la salud, Por ejemplo, “los nitritos pueden provocar asfixia de peces. En los humanos, los nitratos se transforman en nitritos en los intestinos y se armonizan con la hemoglobina para crear metahemoglobina, lo cual disminuye la facultad de la sangre para la transferencia de oxígeno” (Luévano, 2016, p. 35).

“En la orina existe el nitrógeno principalmente como urea, la cual es hidrolizada rápidamente por la ureasa en carbonato de amonio. El amoniaco producido por la acción bacteriana sobre la urea y las proteínas pueden ser usado directamente por las plantas. Si se producen un exceso de los requerimientos de las plantas, tal exceso es oxidado por las bacterias nitrificantes” (Muñoz, 2008, p. 55).

8.8. Eutrofización

“El estado trófico de un ecosistema acuático lo determina la concentración de nutrientes provenientes de la cuenca de drenaje y de los procesos metabólicos de su biota, entre otros factores”(Mariñelarena et al., 2017, p. 2).

La eutrofización es un proceso de origen natural y/o antropogénica, cuando sus aguas se enriquecen de nutrientes. El problema radica en que, si hay exceso de nutrientes, crecen en abundancia las plantas y otros organismos. Posteriormente cuando estos mueren, se descomponen y se degradan conllevando a la explosión poblacional de bacterias. Esta situación aumenta la demanda del oxígeno disuelto, modificando negativamente la calidad del agua. Como consecuencia de ello, las aguas dejan de ser aptas para el normal desarrollo y distribución de la mayor parte de la biota acuática, y como eventual resultado final, el ecosistema acuático modifica sus funciones y procesos ecológicos normales (Zapata et al., 2012, p. 2).

Los factores que afectan el grado de eutrofización son los climas cálidos ya que favorecen el proceso, y los cuerpos de agua poco profundos y/o de bajo caudal son más propicios para el desarrollo de dicho proceso. Además de las causas antropogénicas de la eutrofización, también hay causas naturales como: aportes atmosféricos (precipitación), descomposición y excreción de organismos y por último, la fijación de nitrógeno por microorganismos (Eutrofización, Eutrofización, s. f.).

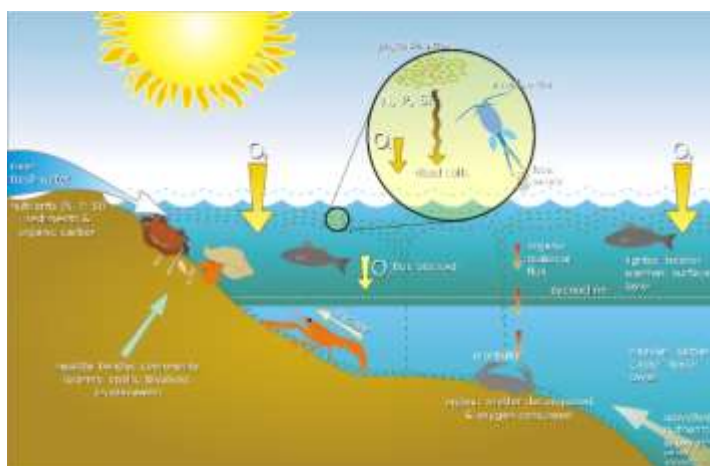


Figura 4. Proceso de eutrofización. recuperado de Greenteach.

8.9. Fitorremediación como alternativa para la descontaminación del agua

En la actualidad se cuenta con diversas técnicas y métodos para la mitigación de la polución de aguas, una de ellas es la fitorremediación, considerada como una de las mejores eco

tecnologías alternativas, debido a que utiliza especies vegetales como catalizadoras de contaminantes debido a su capacidad de absorber, detener o eliminar la concentración de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

La fitorremediación es un tratamiento sencillo y económico que se caracteriza por dar la “oportunidad al medio de regenerarse de forma natural, ayudándolo a eliminar la carga contaminante del medio afectado, y a su vez evitando el impacto ecológico ”(Andrade, 2017, p. 17) ya que al implementar otras técnicas como maquinaria, estas generan sustancias peligrosas que no desaparecen con facilidad.

8.9.1. Funciones de las plantas en los procesos de fitorremediación

En general los mecanismos involucrados en la remoción de contaminantes de aguas residuales son tres tipos: físicos (sedimentación, filtración, adsorción, volatilización), químicos (precipitación, hidrólisis, reacciones de óxido – reducción o fotoquímicas) y biológico (resultado del metabolismo microbiano, de las plantas y de procesos de bioabsorción).

Uno de los principales procesos que ocurren en el tratamiento de aguas residuales, es la degradación de la materia orgánica que llevan a cabo los microorganismos que viven sobre y alrededor de las raíces de la planta. A su vez, los microorganismos usan como fuente alimenticia parte o todos los metabolitos desechados por la planta a través de la raíz. Además, las plantas tienen la capacidad de transferir oxígeno desde sus partes superiores hasta su raíz, produciendo una zona aerobia en sus alrededores que favorece los distintos procesos que ocurren en el tratamiento de aguas residuales (R. López et al., 2004, p. 73)

8.9.2. Procesos de la fitorremediación

Según (Santana & Santos, 2016, p. 23), basadas en diferentes estudios, describen los procesos presentes en la fitorremediación, detallados a continuación:

Fitoextracción. Hace referencia a cuando la planta absorbe del suelo o agua los contaminantes y los concentra en su parte vegetal. La contaminación se elimina mediante sucesivas cosechas y tratamiento de la parte vegetativa. Para ello se emplean determinadas especies de plantas, llamadas hiper acumuladoras por la elevada proporción en la que se acumulan metales pesados en sus tejidos, además de tener una alta producción de biomasa.

Fitoestabilización. En este proceso las plantas reducen la biodisponibilidad de los contaminantes del medio donde se encuentre, y sucesivamente mejora las propiedades físicas y químicas.

Fitovolatilización. Proceso en el que la planta extrae los contaminantes orgánicos del suelo o del agua y los volatiliza a través de su tejido.

Fitodegradación. Hace referencia a cuando plantas acuáticas o terrestres asimilan, almacenan y biodegradan sustancias orgánicas.

Rizofiltración. Referente a la utilización de las raíces de las plantas para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos en el que la masa radicular actúa como filtro que retiene a los contaminantes.

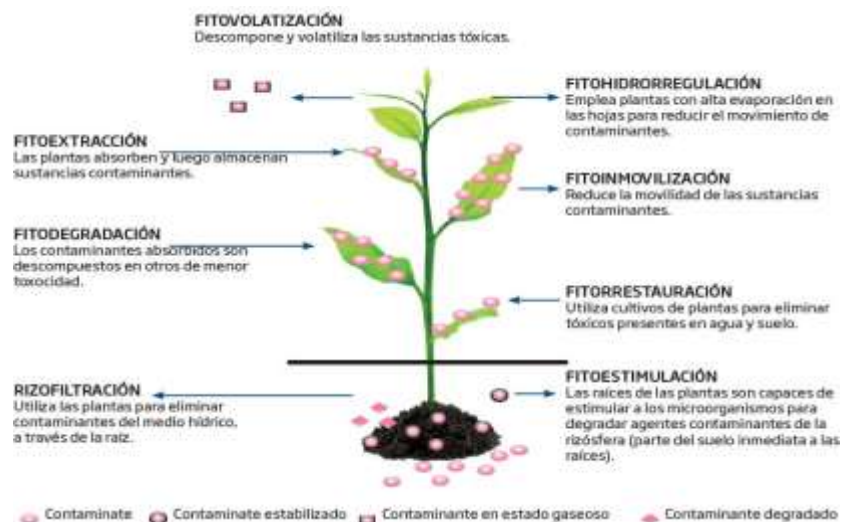


Figura 5. Procesos de la fitorremediación: Fitovolatilización, Fitoestabilización, Fitoextracción, Fitoestimulación, Rizofiltración, Fitodegradación, y Fitoenmovilización. Dibujo extraído de Life Riverphy.

8.10. Islas Flotantes Artificiales

Las islas flotantes artificiales (IFA) “son un tipo de humedal artificial en donde se instalan macrófitos emergentes sobre estructuras flotantes y son utilizadas de Fitodepuración, paisajismo y proyectos de conservación” (Martínez-Peña, 2018, p. 1). Las IFA “(...) consisten en un monocultivo o policultivo de plantas superiores (macrófitas acuáticas) dispuestas en lagunas, tanques o canales poco profundos (...) la acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual efluente es depurada progresiva y lentamente” (Soler et al., 2018, p. 2).

8.10.1. Funcionamiento

“Entre sus principales funciones se encuentran: airear el sistema radicular y proporcionar oxígeno a los microorganismos que viven en la rizosfera, absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo), acumulación de metales tóxicos en sus tejidos y filtración de los sólidos a través del entramado por su sistema radicular” (Luca et al., 2011).

Biopelículas. - Las biopelículas son “comunidades de microorganismos que están en simbiosis con las raíces y son capaces de absorber el exceso de nutrientes, asimilándolos de manera productiva en la cadena trófica, mientras que reducen su disponibilidad para las algas, y otras especies acuáticas dominantes” (Fonseca et al., 2017, p. 2).

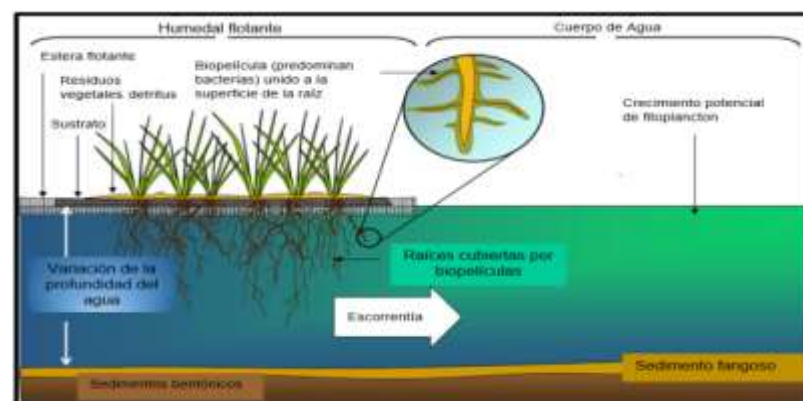


Figura 6. Funcionamiento de las IFA. Extraído de Fonseca, Claraid & Espitia, 2017

8.10.2. Mecanismos de eliminación de contaminantes

Los principales mecanismos de eliminación de contaminantes en las IFA son:

Eliminación de los sólidos suspendidos: se realiza a través de dos procesos físicos como la filtración, y sedimentación de los remantes, completando la eliminación de los mismos. Las raíces de las especies vegetales y el sustrato reducen la velocidad del agua, favoreciendo ambos procesos (Soto, 2016, p. 12).

Eliminación de la materia orgánica: la eliminación de la materia orgánica tiene lugar principalmente mediante la biodegradación aerobia y anaerobia. Una pequeña porción también es eliminada por procesos físicos como la sedimentación y la filtración cuando la materia orgánica está fijada en los sólidos suspendidos. La biodegradación es realizada por los microorganismos, los cuales están adheridos a la planta, en particular a las raíces y a la superficie de los sedimentos. Todos los microorganismos involucrados en este proceso

requieren una fuente de energía y carbono para la síntesis de nuevas células, como también otros nutrientes (Soto, 2016, p. 12).

Eliminación de patógenos: la remoción de estos microorganismos se basa en una combinación de factores físicos, químicos y biológicos. Los factores físicos incluyen la filtración, sedimentación, agregación y acción de la radiación ultravioleta. Los mecanismos biológicos incluyen la predación y ataque por bacteriófagos y protozoos y también la muerte. Los factores químicos son la oxidación, adsorción y la exposición a toxinas fijadas por otros microorganismos y exudadas por las raíces de las plantas (Soto, 2016, p. 12).

Eliminación de metales pesados: los mecanismos para la remoción de metales pesados incluyen adsorción, sedimentación, precipitación química y su asimilación por parte de las plantas. Los metales pueden liberarse durante ciertas épocas del año, generalmente en respuesta a cambios en los potenciales de oxidación-reducción dentro del sistema (Soto, 2016, p. 12).

Eliminación de nitrógeno: la mayor parte del nitrógeno presente en el influente de los humedales artificiales está presente como amonio o en forma de un compuesto inestable, que es fácilmente transformado a amonio. Los principales mecanismos de eliminación de nitrógeno en humedales artificiales son la nitrificación y la desnitrificación, que ocurren en diferentes zonas del sustrato. Todo el proceso puede ser dividido en pasos, iniciando con la hidrólisis, seguido por la nitrificación y finalmente la desnitrificación (Soto, 2016, p. 12).

Eliminación de fósforo: el fósforo está presente de tres maneras distintas, como ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. Los dos últimos requieren una descomposición previa a una forma de ortofosfato más asimilable, y que esté disponible para el metabolismo biológico inmediato. La remoción de ortofosfato ocurre principalmente como una consecuencia de la adsorción, complejización y reacciones de precipitación con Al, Fe, Ca y materiales arcillosos en la matriz del sustrato. El consumo de fósforo por la planta puede ser considerado como insignificante comparado con los efectos de adsorción (Soto, 2016, p. 12).

8.10.3. Estructura

Las IFA están conformados por una estructura flotante en donde las plantas acuáticas emergentes crecen enraizadas en la superficie. Los tallos de las plantas se desarrollan por encima del nivel del agua, mientras las raíces crecen en la columna de agua hacia el fondo del estanque favoreciendo los procesos de fitodepuración, al generar una superficie para el establecimiento de comunidades microbianas. La flotabilidad permite que la isla permanezca

en la superficie, tolerando las fluctuaciones en la profundidad del agua (Martínez-Peña, 2018, p. 5).

8.10.4. Condiciones ambientales en las IFA

Para la existencia de un adecuado proceso de depuración de aguas residuales en los humedales artificiales es necesario tener en cuenta las siguientes condiciones (Nuñez, 2016, p. 103):

Incidencia de luz: “Es uno de las principales condiciones para el funcionamiento adecuado de los humedales artificiales. Es por ello que el humedal artificial siempre tiene que contar luz solar, y poca sombra para un adecuado funcionamiento” (Luna & Castañeda, 2014, p. 5).

Temperatura: “(...) pueden trabajar en climas fríos hasta los 10 °C, como también en cálidos por encima de los 20 °C, llegando a los 37 °C” (Hoffmann et al., 2011, p. 35); lo cual favorece el crecimiento de las plantas y por ende de los microorganismos.

pH: Deben contar con un pH dentro del rango aceptado 6.5 – 8.5.

Salinidad: “Debe contener un buen contenido de salinidad, ya que es importante para el crecimiento de las especies emergentes” (Delgadillo et al., 2010, p. 27).

Humedad: “Soportan una humedad alta de acuerdo al lugar donde se encuentren” (Delgadillo et al., 2010, p. 27).

8.11. Pasto Guinea (*Panicum maximum*)

8.11.1. Origen y distribución

El Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo y Cooperación (ORSTOM) efectuó una amplia colecta de germoplasma, representativa de la variabilidad natural de la especie *Panicum máximum* en Kenia y Tanzania durante los años 1967 y 1969. Posteriormente la introducción de este germoplasma a Brasil, se realizó con el objetivo de conducir trabajos de descripción morfológica, evaluación, selección y la eventual liberación de materiales promisorios de esta especie. Sin embargo se la considera nativa de África (Carrillo, s. f., p. 1).

por lo tanto “la distribución de esta especie es cosmopolita, es decir en todos los lugares que cuenten con regiones con clima de tipo tropical (cálido húmedo y subhúmedo)” (S. López, 2001, p. 17).

8.11.2. Descripción Morfológica

De acuerdo a la (FAO, s. f.) es un pasto perenne copetudo y robusto, de hasta 3 - 4 m de altura, con panículas grandes y ramificadas. Tallo corto y robusto, resistente a los nodos. Hojas alternas, dispuesta en 2 hileras sobre el tallo, lineales-lanceoladas. La inflorescencia es una panícula cónica con ramas horizontales, espiguillas sin aristas con un flósculo fértil. La semilla es de 1 mm de largo y verdes fosforescentes. “la implantación del tallo son planas y erectas conteniendo bordes levemente partidas, en ellas se puede observar una delgada membrana peluda” (Giraldo, 2005)

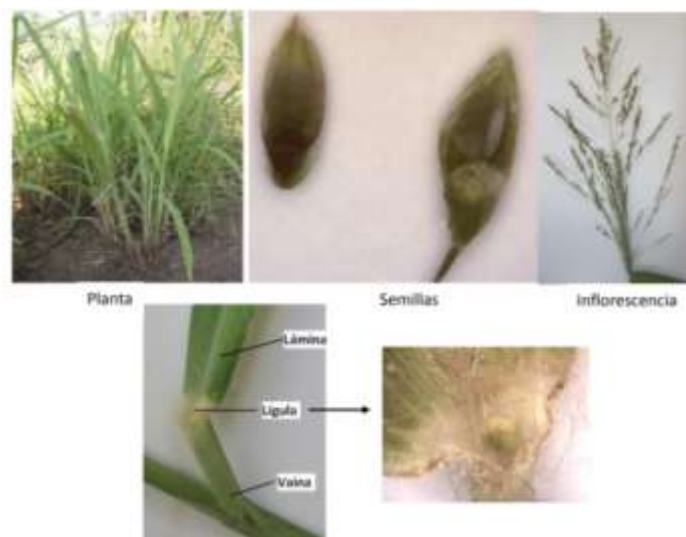


Figura 7. Descripción botánica de *Panicum maximum*. extraído de inta.gob.ar

8.11.3. Clasificación taxonómica

Tabla 3. Taxonomía del Pasto Guinea

Taxonomía	
Reino	Vegetal
Clase	Angiosperma
Subclase	Monocotiledónea
Orden	Glumiflorae
Familia	Gramíneas
Género	Panicum
Especie	Panicum máximum

Fuente: PlantNet, elaborado por Autores

8.11.4. Características principales

Tabla 4. características principales del Pasto Guinea

Características	
Familia	Gramínea
Ciclo vegetativo	Perenne, persistente
Adaptación pH	5.0 – 8.0
Fertilidad del suelo	Media alta
Drenaje	Buen drenaje
m.s.n.m.	0 – 1500m
Precipitación	1000 a 3500 mm
Densidad de siembra	6 – 8 kg/ha
Profundidad de Siembra	Sobre el suelo, ligeramente tapada
Valor nutritivo	Proteína 10 – 14%, digestibilidad 60 – 70%
Utilización	Pastoril, corte y acarreo, barreras vivas

Fuente: Especies Forrajeras Multipropósitos. Elaborado por: Autores 2020

Según (Joaquín et al., s. f.) el pasto guinea se caracteriza por ser de buena calidad nutritiva, excelente adaptación por el ganado y resistencia a la sequía; sin embargo, la escasez de semilla (...) ha limitado su uso. Entre los factores que favorecen esta escasa disponibilidad de semillas se encuentran la floración heterogénea, la maduración muy irregular y un alto porcentaje de desprendimiento, lo que ocasiona que durante la cosecha solamente se obtenga una pequeña fracción de las panículas en maduración y por ello bajos rendimientos.

8.11.5. Rasgos Fisiológicos

Se desarrolla durante los meses más cálidos en que la temperatura excede los 40°C y la temperatura de los meses más fríos no desciende de los 17°C (FAO, s. f.).

El exceso de humedad puede provocar un desarrollo anormal del follaje y de los rizomas presentándose pudrimiento general de la planta. El requerimiento de agua durante el periodo vegetativo es de 800 a 1200 mm (FAO, s. f.).

Su sistema radicular es profundo y fibroso y tiene alguna tolerancia a la sequía, pero no la suficiente para resistir temporadas secas largas. El pasto guinea está adaptado a una amplia gama de suelos pero se comporta mejor en los bien drenados de mediana a alta fertilidad (Corpas & González, 2011, p. 27).

8.11.6. Fenología

Latencia

En la investigación realizada por (Flores et al., 2016) en México, concluyeron que para que ocurra el rompimiento de la latencia se requiere un periodo de inhibición en la oscuridad. debido a que la latencia puede ser física ya que cuenta con una cubierta impermeable al agua en la testa de las semillas, fisiológica debido a que se puede generar por el bloqueo en el metabolismo del embrión, baja actividad enzimática, producción de coenzimas y ácidos nucleicos, y morfológica, ocasionada por la presencia de embriones rudimentarios no desarrollados.

Germinación

La semilla puede llegar a tardar 30 días en germinar. Después de 160 a 190 días después de la cosecha se encuentra la mejor germinación. Posteriormente al cuarto mes se puede observar el crecimiento radicular abundante y la formación completa de la planta (Bravo & Gutierrez, 2019, p. 47).

Crecimiento

En un estudio realizado por (Vargas et al., 2014, p. 4) aseguran que “a partir de la germinación inicia el proceso de crecimiento que durante el primer mes de crecimiento y maduración fisiológica se debe realizar un corte de igualación por encima de los nudos. En esta etapa se evidencia que existe un crecimiento acelerado hasta los 40 días, a razón de 2,5 cm por día, a partir del cual crecen más discretamente lo que se debe a adaptaciones fisiológicas de la planta, producto a factores climáticos”.

Floración

El periodo de floración y producción de semilla se prolonga por un largo tiempo, dando origen a una maduración irregular en la panícula. Estas pequeñas semillas están recubiertas de glumas (cubierta floral), las cuales son lisas y vellosas; existen cerca de dos millones por kilogramos (Gonzales, 2017).

9. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS

¿La evaluación del sistema IFA (Islas Flotantes Artificiales) con Pasto Guinea (*Panicum máximum*) permitirá determinar un modelo matemático de remoción de contaminantes?

En base al resultado de los monitoreos de agua analizados en el laboratorio y a la recopilación de datos se determinó el porcentaje de remoción de PO_4 y NO_3 y la interacción entre el DBO_5 y pH. Además, se estableció la ecuación de regresión lineal simple permitiendo conocer con exactitud desde que día después de la implementación de las IFA's, la especie vegetal comienza con el proceso de remoción de contaminantes hasta su etapa de floración.

10. METODOLOGÍA/ DISEÑO EXPERIMENTAL

10.1. Área de estudio

El proyecto de investigación se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, ubicada en la parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, con una altitud de 2731 m.s.n.m.

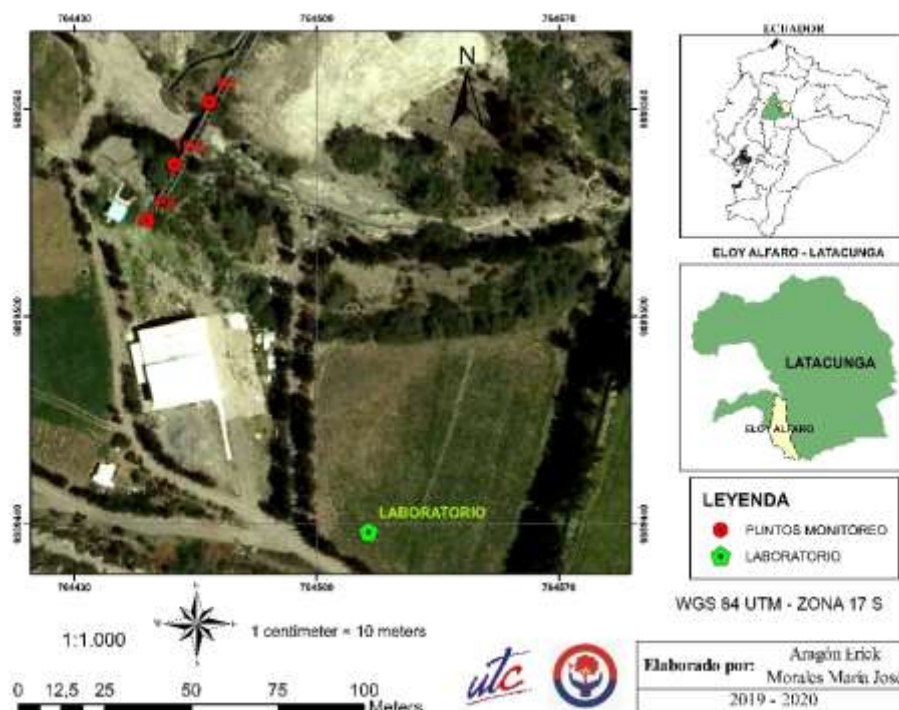


Figura 8. Sitio de muestreo y ubicación del ensayo

10.2. Muestro del canal de riego de la microcuenca del río Cutuchi (MRC)

Para seleccionar el agua de ingreso al ensayo (tinas), se realizó el muestreo inicial del agua, el cual presentó los siguientes rangos de contaminantes (ver tabla 5). Considerando los resultados del análisis químico inicial del canal de riego, se estableció llevar a cabo la investigación partiendo de la recolección del agua del punto 3, debido a que cuenta con rangos de contaminación superior a los otros dos puntos analizados (ver tabla 5). Sin embargo, para la determinación de la funcionalidad del proyecto de investigación se adiciono contaminantes extras a fin de aumentar las concentraciones iniciales del agua objeto de estudio.

Tabla 5. Resultados de los monitoreo del canal de riego del río Cutuchi

Punto	Coordenadas UTM	Parámetros			
		DBO ₅ mg/l	pH un.ph	PO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l
1	764468	4.02	7.5	1.32	3
	9889548				
2	764466	3.37	7.5	1.4	2.96
	9889549				
3	764464	4.32	7.5	1.67	2.48
	9889550				

Fuente LABIOTEC - Editado por: Autores, 2020

10.3. Ubicación del ensayo (tinajas)

La evaluación de remoción de nitratos, fosfatos, y parámetro de calidad como la demanda bioquímica del oxígeno y pH, se realizó mediante tres tinajas de polietileno denominadas PG-01, PG-02, y PG-03, con características similares: color oscuro, forma ovalada, de 0.9 m de altura, 0.5 cm de espesor, con capacidad de 100 litros, mismas que están ubicadas dentro del invernadero adaptado en la terraza de los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi (ver figura 8).

10.4. Instalación del sistema

Dentro de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en la terraza de los laboratorios CAREN se construyó un invernadero de 5 x 5 metros, construido artesanalmente a base de vigas de madera y cubierta de plástico, mismo que proporciona un ambiente controlado para el desarrollo de las especies vegetativas utilizadas para el proyecto (anexo 3, fig. 12).

10.4.1. Construcción de la matriz flotante

La selección de los materiales para la construcción de la matriz flotante se realizó bajo criterios de alta durabilidad y de bajo impacto ambiental, el marco está constituido por tubos y codos PVC de 2,5 pulgadas, botellas plásticas, malla de policloruro de vinilo de 1.5 cm de abertura, pegamento de tubería y amarraderas de PVC (anexo 3, fig. 13).

10.4.2. Ensamblado de la matriz flotante

El proceso para el ensamblado de la matriz flotante fue el mismo para la fabricación de las 3 islas. Detallados a continuación:

- a) Para el montaje de la matriz se ha fijado los tubos de 32 cm de longitud, con los codos hasta formar un cuadrado, incorporando el pegamento para evitar el traspaso del agua y permitiendo la flotabilidad de la isla.
- b) Finalmente se procedió con la fijación de la malla de policloruro a la estructura, sujetándola con amarraderas de PVC en cada lado.
- c) La matriz flotante tiene un área de 0.12 m^2 y un perímetro de 1.44 m

10.4.3. Aplicación del sustrato en la matriz flotante

Considerando la morfología de la especie vegetal pasto guinea (*Panicum maximum*) se realizó la combinación de los sustratos al ser incorporados (ver tabla 6) (anexo 3, fig. 14) a la matriz flotante.

Tabla 6. características y proporciones de los sustratos.

Sustrato	Función	Peso kg/matriz	Porcentaje %
Roca pumina	Otorgar fijación y sostén	1	50
Humus	Aporta nutrientes y facilita la germinación de las semillas.	2	50
Sustrato combinado	Propicia un medio idóneo para la interrelación de materia orgánica, planta y microorganismos.	0,94	100

Fuente: Almache & Sinchiguano. Editado por: Autores, 2020

10.5. Incorporación del pasto guinea (*Panicum maximum*) al sistema.

Una vez adquiridas las semillas de Pasto Guinea de la región oriental del país, se hidrataron durante 12 horas para reducir el tiempo de germinación, El humus se separó en forma de surcos para dar paso a la siembra directamente en la matriz flotante.

El proceso de riego al que se sometieron las semillas en la etapa de germinación fue diario con la utilización de un pulverizador manual, hasta llegar a su etapa de desarrollo. Finalmente, concluida dicha etapa, las plantas se adecuaron al sistema IFA en las tinas previamente llenadas con 80 lts de agua.

10.6. Protocolo de muestreo

El protocolo de muestreo se realizó de acuerdo lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2169, 2013) “Calidad del agua. Muestreo, manejo y conservación de muestras del Instituto Ecuatoriano de Normalización”.

Para la toma de muestras de agua se siguieron los siguientes pasos detallados a continuación:

1. *Refrigeración de las muestras.* - Una vez recolectada la muestra inmediatamente se la refrigeró utilizando un cooler en el lugar del muestreo, a una temperatura de 4°C.
2. *Trasporte de las muestras.* - Las muestras fueron transportadas dentro de un ambiente seco y protegidas de la luz directa.
3. *Etiquetado.* - El etiquetado se realizó in situ considerando todos los campos establecidos por el laboratorio para su respectivo análisis.

IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

Identidad:

Muestra:

Representante:

Fecha: Hora:

T°:

Coordenadas

X:

Y:

Figura 9. Etiqueta de identificación de las muestras de agua del sistema IFA. Elaborado por los autores

10.7. Determinación del porcentaje de remoción de contaminantes

El porcentaje de remoción de cada contaminante implementando al sistema, se realizó a partir del promedio de los resultados obtenidos del primer, segundo, tercer y cuarto monitoreo. Mediante la fórmula 1.

$$\%R_N = \left(\frac{C_0 - C_1}{C_0} \right) * 100\%$$

Donde,

$\%R_N$ = Es el porcentaje de remoción del contaminante

C_0 = Es el valor de concentración del parámetro inicial

C_1 = Es el valor de concentración del parámetro final

10.8. Correlación entre el crecimiento de la planta y los contaminantes

Para la determinar la correlación entre el crecimiento radicular y aéreo del pasto guinea (*Panicum maximum*), y los contaminantes analizados por medio de la fórmula 2.

$$\rho_{xy} = \frac{Cov_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Donde,

$Cov(x; y)$: covarianza entre el valor “x” e “y”

σ_x : desviación típica de “X”

σ_y : desviación típica de “Y”

10.9. Modelo de regresión lineal simple

Se aplicó el modelo de regresión lineal simple donde se consideró los valores de los porcentajes de remoción de nitratos y fosfatos, de igual manera los promedios de los muestreos realizados de DBO₅ y pH, en base al tiempo (días) de remoción. Para lo cual se realizó el modelo de regresión lineal simple en el análisis estadístico en el programa Rstudio (los códigos del modelo se encuentran en el anexo 5).

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

11.1. Desarrollo del pasto guinea (*Panicum maximum*)

11.1.1. Etapa de germinación y adaptación al sistema IFA

En la etapa de germinación y desarrollo el pasto presentó problemas fisiológicos debido a las condiciones climáticas, por tal motivo, se realizó la adquisición de la especie *Panicum maximum* en su fase adulta presentando un follaje promedio de 54 cm (anexo 3, fig. 15). Finalmente, se replanto el pasto en la matriz flotante el día 18, además se agregó 83 gr de fertilizante *RAIMAX* en cada una de las tinas el 21 de octubre, con la finalidad de mejorar el desarrollo y fortalecimiento de las raíces para la fase de adaptación.

Su etapa de adaptación duro 28 días, hasta el 14 de noviembre. Demostrando buenos signos de resistencia al clima y por ende su mejor adaptabilidad al sistema en su etapa adulta. Desde la fecha de replantación del pasto hasta el 14 de noviembre, se realizó la primera toma de medidas del crecimiento radicular de cada una de las islas PG-01, PG-02, y PG-03 alcanzando 41, 40 y 51 cm de longitud, respectivamente (anexo 3, fig. 16).

Los autores (Almache & Sinchiguano, 2019) en su proyecto de investigación de las IFA con la especie pasto guinea (*panicum maximum*) desarrollado en las instalaciones de la Universidad Técnica de Cotopaxi, aseguran que las IFA son aptas para el desarrollo de la especie en condiciones controladas en un invernadero. Sin embargo, en nuestra investigación la especie no se desarrolló conforme a lo esperado, eso se debe no solo a condiciones climáticas que influyeron es su crecimiento, ya que la especie se desarrolla en zonas húmedas con elevadas temperaturas 18 - 27°C, con climas cálidos, y una altitud que va desde los 0 hasta 1600 m.s.n.m. además que necesitan de sombra para el desarrollo óptimo así como lo indica el autor (Fabian Martinez, 2019). Sino también a otras situaciones adversas dadas por a la estructura del invernadero ya que fue construido de una manera artesanal y localizado a una altitud de 2731 m.s.n.m. quedando expuesto a corrientes de aire y ventiscas, lo que generó una destrucción parcial del techado. Por lo tanto, la especie quedó expuesto al sol directamente y a la lluvia.

11.2. Crecimiento aéreo y radicular del pasto guinea

La evaluación del crecimiento de la planta se realizó tanto para la parte aérea como para la parte radicular, considerando la especie de mayor tamaño de cada una de las islas flotantes (3 unidades). La toma de mediciones fue cada 21 días durante 3 meses.

Para la evaluación radicular, se consideró desde el cuello hasta la punta más grande de la raíz, así mismo para la parte aérea desde el cuello de la raíz hasta la hoja más alta.

Tabla 7. Promedio del crecimiento aéreo y radicular del pasto guinea

Fecha	Aéreo (cm)	Radicular (cm)	Total (cm)
30/10/2019	64.8	N/A	64.8
14/11/2019	109.7	44	153.7
5/12/2019	117	48.7	165.7
26/12/2019	123	52	175

Elaborado por: Autores, 2020

De acuerdo a los resultados del promedio de crecimiento de la planta de la *tabla 13, anexo 4* el pasto que contaba con mayor longitud en la parte aérea tenía menos longitud en la parte radicular como lo es la PG 02 y viceversa como lo muestra la PG 03. En cuanto al crecimiento total de la planta, el pasto que mejor se desarrolló es el de la tina PG-02, alcanzando hasta 1.83 m, mientras que el pasto de la tina PG-01 presentó menor longitud con 1.68 m.

11.3. Porcentaje de remoción de nitratos y fosfatos

La concentración de fosfato monoamónico y de urea se calculó en base a sus porcentajes de contenido de nitrógeno y fósforo y en relación a los 80 lts de agua introducida en cada una de las tinas. Así pues, 100 gr de fosfato monoamónico contiene 61% P (0.61 gr) y 12% de N (0.12 gr), mientras que 1 gr de urea contiene el 46% N (0.46 gr). Tomando en cuenta dichos datos, el 23 de septiembre se añadió 10.5 y 2.4 gr/tina respectivamente, para el primer periodo de remoción. En cuanto al segundo periodo, el 3 de diciembre del 2019 se añadió el doble de las concentraciones de cada uno de los contaminantes, es decir 20.1 y 4.96 gr/tina.

11.3.1. Nitratos

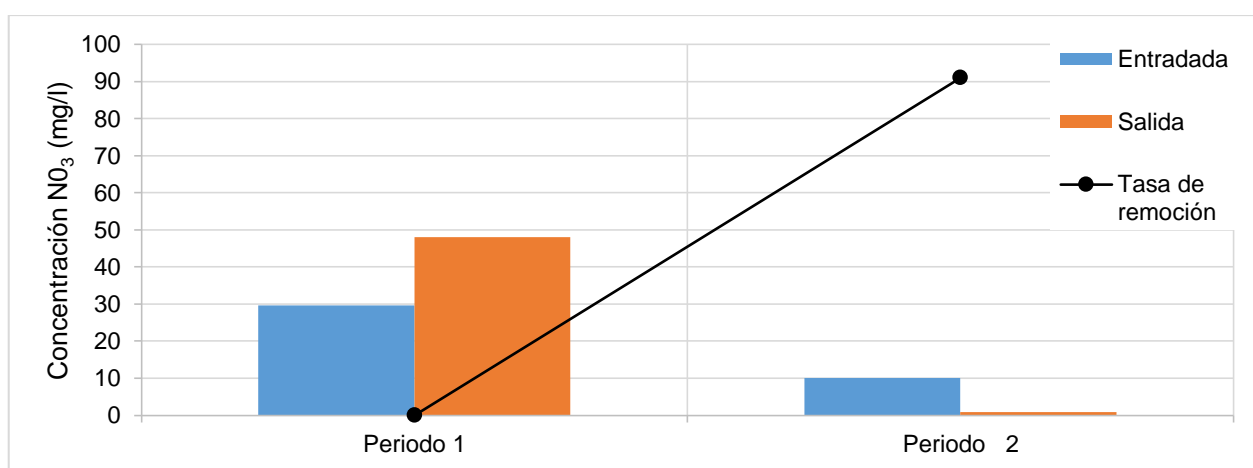
En el primer periodo (15 días) no se registró remoción consecuencia al incremento de la concentración de NO_3 en un 18.41 mg/l. Mientras que en el segundo periodo (36 días) la concentración disminuyó de 10 a <1 presentando una remoción del 91%.

Tabla 8. Porcentaje de remoción de nitratos

Nitratos NO₃ (mg/l)						
Periodo	Fecha desde	Fecha hasta	Días	Entrada	Salida	Remoción %
1	30/10/2019	14/11/2019	15	29.70	48.11	0
2	05/12/2019	26/12/2019	36	10	<1	91

Elaborado por: Autores 2020

Gráfico 1. Tasa de remoción de nitratos



Elaborado por: Autores 2020

11.3.2. Fosfatos

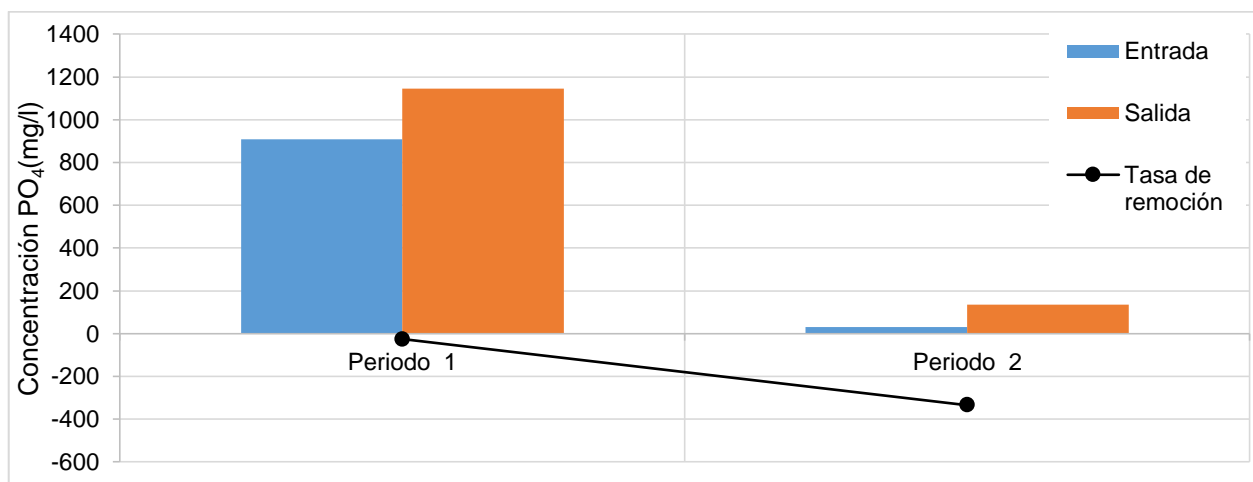
Tanto en el primer como en el segundo periodo no se registró remoción ya que presentó un aumento en la concentración de fosfatos de 238.9 mg/l para el primer periodo y 104.5 mg/l para el segundo periodo.

Tabla 9. Porcentaje de remoción de fosfatos

Fosfatos PO₄ (mg/l)						
Periodo	Fecha desde	Fecha hasta	Días	Entrada	Salida	Remoción %
1	30/10/2019	14/11/2019	15	907.08	1146	0
2	05/12/2019	26/12/2019	36	31.3	135.8	0

Elaborado por: Autores 2020

Gráfico 2. Tasa de remoción de fosfatos



Elaborado por: Autores 2020

De acuerdo a los resultados, en el primer periodo (15 días) no se presentó remoción de nitratos ni fosfatos, debido a que la planta se encontraba en etapa de adaptación. Sin embargo, en este periodo se registró un aumento en la concentración de contaminantes. El incremento de fosfatos se debe a la eutrofización, que según (Herrera et al., 2005) el proceso de eutrofización consiste en el aumento de la producción de materia orgánica (biomasa) como resultado del incremento de la adición de nutrientes principalmente del fósforo aportando a la proliferación de algas nocivas en el sistema, y a la vez ocasionando el aumento de nitratos ya que por acción de las algas impide el desarrollo del ciclo del nitrógeno, es decir, que se llegó solo a la etapa de nitrificación y no a la etapa de desnitrificación.

En el segundo periodo (36 días) se obtuvo el 91% y 0% de remoción de nitratos y fosfatos respectivamente. La remoción de nitratos está asociado a los requerimientos nutricionales de la especie vegetal y la asociación de bacterias fijadoras de nitrógeno (nitrobacter y nitrosomas) que contribuyen a la dinamización del ciclo del nitrógeno en condiciones anóxicas, mientras que (Garzón, s. f.). afirma que el consumo de fósforo es más rápido en condiciones aerobias que en condiciones anóxicas. según el estudio de fitodepuración de aguas residuales domésticas con poaceas (*Panicum maximum*) realizado por (Palta Prado & Morales Velasco, 2013), donde los nitratos fueron removidos efectivamente de los humedales artificiales. Por otro lado, en el proyecto de investigación de las IFA con la especie pasto guinea (*panicum maximum*) desarrollado en las instalaciones de la Universidad Técnica de Cotopaxi por (Almache & Sinchiguano, 2019) presentaron una remoción del 0% de fosfatos e incluso el incremento del mismo con el sistema IFA. Sin embargo, para la misma fecha se registró un 79,76% de remoción de fosfatos sin el sistema IFA en una tina ensayo. Por lo tanto, se puede determinar

que el aumento y la no remoción podrían estar asociadas a la estructura de la matriz flotante, ya que se colocaron sustratos orgánicos (humus) e inorgánicos (pumita) mismos que aportan nutrientes siendo uno de ellos el fósforo principalmente, acelerando así el proceso de eutrofización.

11.4. Correlación entre el crecimiento de la planta con los parámetros analizados

A partir de la relación entre el crecimiento (aéreo, radicular) del pasto guinea (*Panicum maximum*)), la remoción de contaminantes (NO_3 , PO_4) y los promedios de DBO_5 y pH, se determinó el coeficiente de correlación entre ellos (anexo 4, tabla 14 y 15), mediante la fórmula (2).

11.4.1. Crecimiento aéreo

Existe una relación directa entre el crecimiento aéreo con la remoción de nitratos, es decir, que a medida que el pasto guinea crece, la remoción de nitratos y el pH aumentan (ver fig., 10 a y b). También se puede observar una relación inversa directamente proporcional entre el crecimiento de la planta con el DBO_5 no significativa (ver fig., 10 c).

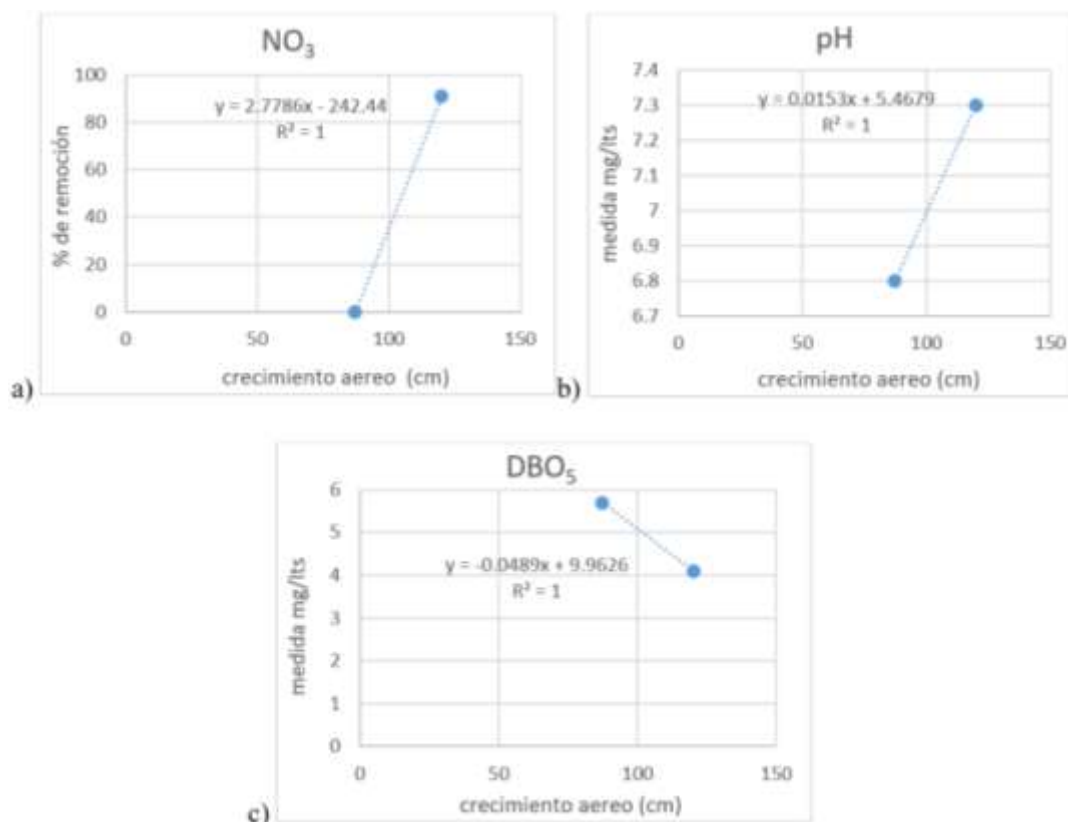


Figura 10. Diagrama de dispersión del crecimiento aéreo: a) Nitratos; b) potencial de hidrógeno; c) Demanda Bioquímica del Oxígeno

11.4.2. Crecimiento radicular

Se observa una relación directa entre el crecimiento radicular con la remoción de nitratos, es decir, que a medida la raíz crece, la remoción de nitratos y el pH aumentan (ver fig., 11 a y b). También se puede observar una relación inversa directamente proporcional entre el crecimiento con el DBO₅ no significativa. (ver fig., 11 c).

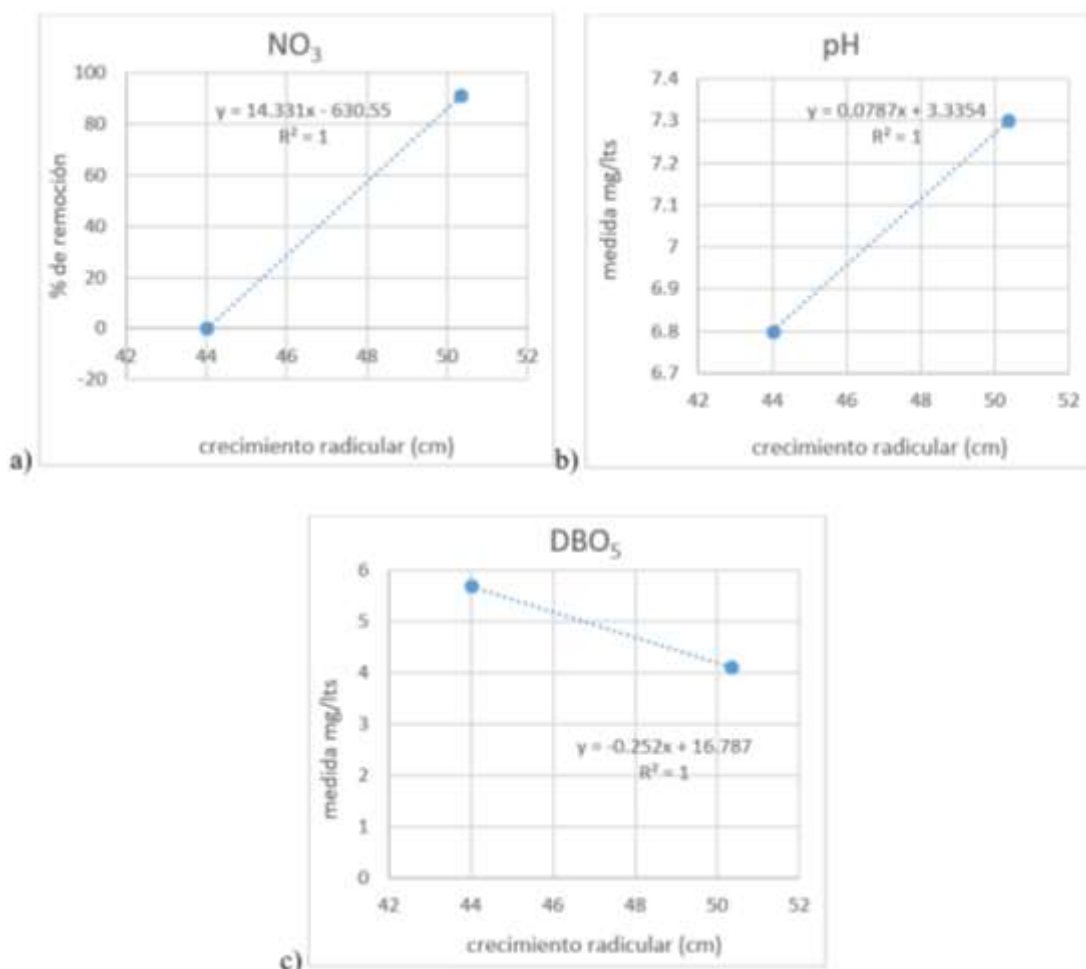


Figura 11. Diagrama de dispersión del crecimiento radicular: a) Nitratos; b) potencial de hidrógeno; c) Demanda Bioquímica del Oxígeno.

A medida que se da el crecimiento de la planta tanto en la parte radicular como aérea el porcentaje de remoción de nitratos aumenta debido a la formación biopelículas en la raíz, denominadas por (Hernández et al., 2015) como colonias masivas de una o múltiples organismos celulares adheridos en la parte radicular de la planta. A causa del crecimiento de la planta se puede observar un aumento de materia orgánica, misma que requiere de oxígeno para ser degradada en el curso del agua. El alto contenido orgánico favorece al crecimiento de bacterias y hongos. El oxígeno utilizado para la oxidación de la materia orgánica, entre los

efectos al ecosistema, se encuentra el cambio en la calidad del agua, y la posible elevación del pH, provocando la desaparición de la biodiversidad acuática, de acuerdo a (Raffo Lecca & Ruiz Lizama, 2014). y a pesar que el crecimiento muestra una relación inversamente proporcional con el DBO₅ no presenta una variación significativa en los valores, que se dio por factores externos como el aumento de agua en las tinas y al remover manualmente las algas.

La demanda bioquímica del oxígeno depende de la cantidad de materia orgánica existente, según (Raffo Lecca & Ruiz Lizama, 2014) A mayor cantidad de materia orgánica en el agua, más cantidad de oxígeno necesitan los microorganismos para oxidarla o degradarla, generando condiciones anóxicas. Por lo tanto, (Calvachi & Ortiz, 2013) afirma que la desnitrificación se da al mismo tiempo que se oxida la materia orgánica, cuando hay menos cantidad de oxígeno.

11.5. Determinación de un modelo de regresión lineal

Mediante el porcentaje de remoción de nitratos y de los promedios del DBO₅ y pH (ver tabla 10), se ha podido establecer la correlación existente entre el tiempo y todos los parámetros analizados (anexo 4, tabla 16), donde, determina que existe una relación directa con nitratos ya que presento una remoción del 91%, en el segundo periodo. Por otro lado, los fosfatos no presentan correlación con ningún parámetro, debido a que no hubo remoción en ninguno de los dos periodos. Por lo tanto, solo se estableció una ecuación lineal para nitratos.

Tabla 10. Porcentaje de remoción y promedio de los parámetros de calidad.

Período	Tiempo días	Contaminantes		Parámetros de calidad	
		% de remoción		Promedio mg/l	
		PO ₄	NO ₃	DBO ₅	pH
1	15	0	0	5.7	6.8
2	36	0	91	4.1	7.3

Elaborado por: Autores 2020

11.5.1. Ecuación lineal para nitratos

Una vez determinada la correlación a través del software Rstudio se logró establecer la ecuación lineal para nitratos, en donde el tiempo esta determina por la variable “t”.

$$E_{NO_3} = 4.33(t) - 65$$

$$E_{NO_3} = 4.33(16) - 65$$

$$E_{NO_3} = 4.28\%$$

Según la ecuación lineal para nitratos, la remoción empezó en el día 16 de su etapa de adaptación con 4.28%. sin embargo, esta ecuación tiene un límite, hasta su etapa de floración que según (Fabián Martínez, 2019) manifiesta que el pasto guinea (*Panicum maximum*) presenta floración entre los meses de mayo y junio. Es decir, que la ecuación tiene validez hasta su etapa de floración (183 días), debido a que el desarrollo del proyecto el pasto no llegó a su etapa de floración.

12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

12.1.Técnicos

- a) La implementación de un sistema de fitorremediación no requiere el consumo de energía para su instalación operación y mantenimiento.
- b) No requiere de personal especializado durante la fase de desarrollo del proyecto.
- c) Se realiza sin necesidad de transportar el sustrato contaminado, con lo que se disminuye la dispersión de contaminantes a través del aire o del agua.
- d) La utilización de especies vegetales hiperacumuladoras desarrolla un nuevo campo de investigación para el mejoramiento continuo de ecosistemas afectados por las actividades industriales.

12.2.Ambientales

- a) Actúa positivamente sobre el suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas, debido a la formación de una cubierta vegetal.
- b) Es eficiente en la remoción, captación y eliminación de contaminantes orgánicos, inorgánicos, metales pesados, derivados del petróleo.
- c) El sistema es totalmente natural y no necesita adición de productos químicos de manera habitual.
- d) La Instauración de las IFA's ayudan al mejoramiento paisajístico en los cuerpos de agua.

12.3.Económicos

- a) El costo de implementación es relativamente bajo en comparación a sistemas de tratamiento de aguas residuales convencionales.
- b) Permite la reutilización de recursos como: agua, biomasa, metales pesados.
- c) La extracción de metales se puede realizar a través de plantas bioacumuladoras para posteriormente la reutilización de contaminantes.

13. PRESUPUESTO

Tabla 11. Presupuesto para la implementación del proyecto IFAS

Actividades	Recursos	Cantidad	Descripción	Valor unitario \$	Valor total \$
Instalación del sistema IFA	Humanos	2	Personas	30,00	60,00
	Materiales	2	Plástico del invernadero	60,00	120,00
		18	Palos	2,25	44,10
		2	Tubos PVC	6,00	12,00
		12	Codos PVC	1,00	12,00
		1	Malla sintética	1,50	1,50
		3	Tinas plásticas	15,00	45,00
		3	Bombas de aireación	90,00	270,00
	Otros	8	Transporte	6,60	52,80
		8	Alimentación	2,50	20,00
Monitoreo de los parámetros NO ₃ , PO ₄ , DBO ₅ , pH	Laboratorio	12	Análisis de laboratorio	30,00	360,00
	Otros	8	Transporte	6,60	52,80
Recopilación de información in situ del sistema IFA y análisis estadístico	Materiales	1	Libreta de campo	1,00	1,00
		2	Resmas de papel	5,00	10,00
		4	Esferos	0,80	3,20
		1	Cinta métrica	0,50	0,50
	Tecnológicos	2	Computadoras	0,40	100,00
		1	Impresiones	0,10	100,00
		2	Alquiler de GPS	2,50	5,00
				Total	1429,89

Elaborado por: Autores, 2020

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1. Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto, el sistema IFA con *Panicum maximum*, demostró ser eficiente en la remoción de NO_3 con un 91%. Sin embargo, no se evidenció remoción de PO_4 .

Con el desarrollo del trabajo investigativo se reitera la importancia del uso del sistema IFA para el tratamiento de aguas residuales y el potencial uso de la *Panicum maximum* como alternativa para depuración de aguas con altos contenidos de NO_3 .

De los resultados expuestos sobre la correlación entre el desarrollo del *Panicum maximum* y los parámetros, se observó una relación directamente proporcional entre el crecimiento aéreo y radicular de la planta con la remoción de NO_3 y la variación del pH y DBO_5 .

Mediante el programa Rstudio se generó una ecuación de regresión lineal simple en función al porcentaje de remoción de NO_3 , donde, se determinó que a partir del día 16 de su etapa de adaptación el *Panicum maximum* inició la remoción de nitratos. Esta ecuación presenta una validez de 183 días hasta la etapa de floración de la especie.

14.2. Recomendaciones

La selección de las especies vegetales de las IFA debe estar acorde con las condiciones climáticas de la zona donde se quiera implantar el sistema, para su óptimo desarrollo.

Implementar las IFAS con *Panicum maximum* en cuerpos de agua que contengan mayor concentración de nitratos, baja concentración en fosfatos, y tendencia a un pH ácido, con el fin de neutralizar.

Para un mayor grado de exactitud en los resultados, es importante incrementar el número de monitoreos en los análisis de calidad de agua.

Evaluar más parámetros físicos, químicos y microbiológicos de calidad de acuerdo a la procedencia de las aguas residuales.

15. REFERENCIAS

1. Almache, L., & Sinchiguano, L. (2019). Islas Flotantes Artificiales con PASTO GUINEA (*Panicum máximum*) como alternativa para la remoción de TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo) en el agua procedente del río Cutuchi.
2. Andrade, V. (2017). FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES. 44.
3. Blazquez, P., & Montero, C. (2010). Aguas residuales. 29.
4. Bravo, A., & Gutierrez, E. (2019). ISLAS FLOTANTES ARTIFICIALES CON ACHIRA (*Canna indica*) Y PASTO GUINEA (*Panicum maximum*), COMO ALTERNATIVA PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS, FOSFATOS Y CROMO DE AGUA PROCEDENTE DEL RÍO CUTUCHI.”. Universidad Técnica de Cotopaxi.
5. Brönmark, C., & Hansson, L. A. (2005). The Biology of Lakes and Ponds. OUP Oxford. <https://books.google.com.ec/books?id=8sJr57fEVJ0C>
6. Calvachi, G. L. C., & Ortiz, I. A. S. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: Orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. UNIVERSIDAD Y SALUD, 18.
7. Carrillo, O. (s. f.). Pasto Mombaza. http://ofinase.go.cr/wp-content/uploads/2017/09/doctecnica_mombaza.pdf
8. Contreras, E. G., Chang, M. G. A., & Yupari, G. I. M. (2016). APRENDE A PREVENIR LOS EFECTOS DEL MERCURIO MÓDULO 3: AGUA Y ALIMENTO. 44.
9. Corpas, I. V., & González, S. S. (2011). EVALUACION DE DIFERENTES FRECUENCIAS DE CORTE A UNA ALTURA DE 30 cm EN PASTO GUINEA MOMBaza (*Panicum maximum*, Jacq), EN CONDICIONES DE SOL Y SOMBRA NATURAL INFLUENCIADA POR EL DOSEL DEL ÁRBOL DE CAMPANO (*Pithecellobium saman*) EN EL MUNICIPIO DE SAMPUÉS, SUCRE. 106.
10. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
11. Escalante, V. E., Cuauhnáhuac, I. M. de T. del A. P., Garzón, M. A., & Cuauhnáhuac, I. M. de T. del A. P. (2015). Treatment options for wastewater of three swine farms. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 2(2), 87-90. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2010.10.015>

12. Espigares, M., & Pérez, J. (s. f.). AGUAS RESIDUALES. 22.
13. Eutrofización (= Eutroficación). (s. f.). Recuperado 20 de enero de 2020, de <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/porta/enciclopedia/terminos/Eutrofizac.htm>
14. FAO. (s. f.). División de Producción y Protección Vegetal: *Panicum maximum*. Recuperado 25 de enero de 2020, de <http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/biodiversity/weeds/listweeds/pan-max/en/>
15. Fernández, M. (2007). Fosforo: Amigo o enemigo.pdf. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>
16. Flores, M. A., Sánchez, E., & Balandrán, M. I. (2016). Efectividad de tratamientos pre-germinativos en la ruptura de la dormancia en las semillas forrajeras y de malezas
Effectiveness of treatments in pre-germ dormancy breakdown in feed and weed seeds. 6.
17. Fonseca, K., Claraid, G., & Espitia, E. (2017). ISLAS FLOTANTES ARTIFICIALES UNA ALTERNATIVA ECOTECNOLÓGICA PARA LA RESTAURACIÓN Y REMEDIACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS.docx.
18. Garzón, M. A. (s. f.). Mecanismos biológicos de remoción de Fósforo y nitrógeno, así como la operación de los sistemas de tratamiento correspondientes.
19. Garzón-Zúñiga, M. A., Buelna, G., & Moeller-Chávez, G. E. (2012). La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(3), 153-161.
20. Giraldo, J. (2005). monografias.com.
21. Gonzales, K. (2017). Pasto Guinea Mombasa (*Panicum maximum*, Jacq). *Zootecnia y Veterinaria es mi Pasión*. <https://zoovetmipasion.com/pastos-y-forrajes/tipos-de-pastos/pasto-guinea-mombasa-panicum-maximum-jacq/>
22. Hadley, E., Ramos, M., Paredes, J., Bolívar, Á., & Wilches, G. (2015). Agua para atesorar. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Agua-para-atesorar.pdf>
23. Hernández, M., Silveti, A., Arriola, J., Pérez, G., & Mendoza, J. (2015). Ideas y conceptos de la formación de Biopelículas en la acción de las Rizobacterias promotoras del Crecimiento Vegetal. [http://cmas.siu.buap.mx/porta_pprd/work/sites/rlac/resources/LocalContent/77/2/6\(14\)-7.pdf](http://cmas.siu.buap.mx/porta_pprd/work/sites/rlac/resources/LocalContent/77/2/6(14)-7.pdf)
24. Herrera, J. A., Cirerol, N. A., Troccoli, L., Ghinaglia, F., & Madden, C. (2005). EUTROFIZACIÓN COSTERA EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN. 28.

25. Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M., & Muench, E. (2011). Technology review of constructed wetlands Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment.
file:///C:/Users/pc/Downloads/Technology_Review_Wetlands.pdf
26. INEN, Instituto Ecuatoriano de N. (2014). Calidad del Agua: Determinación del pH.
<http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACION-DE-MUESTRAS.pdf>
27. Joaquín, B. M., Hernández, A., Pérez, J., Herrera, G., García, G., & Trejo, C. (s. f.). Fertilización nitrogenada y momento de cosecha en la producción de semilla de pasto guinea (*panicum maximum*): Parámetros y componentes de rendimiento. Recuperado 25 de enero de 2020, de http://ciat-library.ciat.cgiar.org/pasturas_tropicales/DOCUMENTS/2001-vol23-rev1-2-3/Vol23_rev2_a%20B1o01_art3.pdf
28. Libro Blanco del Agua en España. (2000). https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20de%20Recuperacion%20del%20J%20Bacar/Cap.3_part2._Libro_blanco_del_agua.pdf
29. López, R., Yunny, V., Ortega, R., & Olguín, E. (2004). Fundamentos y aplicaciones. 15.
30. López, S. (2001). Pasto Guinea (*Panicum maximum*), establecimiento, producción y manejo. Universidad Autonoma Agraria «Antonio Agria».
31. Luca, G. A. D., Maine, M. A., Mufarregge, M. M., Hadad, H. R., Sánchez, G. C., & Bonetto, C. A. (2011). Metal retention and distribution in the sediment of a constructed wetland for industrial wastewater treatment. 2.
32. Luévano, J. (2016). Propuesta metodológica para reducir la concentración de nutrientes en Bioensayos a la interperie con *spirodela polyrhiza*. Instituto Politécnico Nacional.
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18634/TESIS-JESSICA%20DENISSE%20LUEVANO%20VARGAS%20A140135%20IPN%20CICATA%20ALTAMIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
33. Luna, V., & Castañeda, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. 17(1), 24.
34. Mansilla, G. (2013). Potencial de Hidrogeniones- pH.
http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/raci/v40/v40_a01.pdf

35. Mariñelarena, A., Donagh, M. E. M., & Donadelli, J. (2017). UN CASO INUSUAL DE EUTROFIZACIÓN EN EL EMBALSE RÍO TERCERO: EL POSIBLE ROL DE DOS BIOINVASORES. 9.
36. Martínez, Fabián. (2019). Ficha técnica pasto guinea cv guinea comun.pdf. file:///C:/Users/pc/Downloads/ficha%20tecnica%20pasto%20guinea%20cv%20guinea%20comun.pdf
37. Martínez, Fabian. (2019). Pasto Guinea (*Panicum máximum* cv guinea común)—Información completa. <https://infopastosyforrajes.com/pasto-de-pastoreo/pasto-guinea-2/>
38. Martínez-Peña, L. (2018). Islas flotantes como estrategia para el establecimiento de plantas acuáticas en el Jardín Botánico de Bogotá. 11.
39. Muñoz, A. (2008). CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/514/?sequence=1>
40. Muñoz, F. (2016). Evaluación de la remoción de fenoles, fósforo y nitratos en agua residual doméstica rural en Bruselas Huila, a partir de un sistema de fitorremediación con buchones de agua (*eichhornia crassipes*). UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/8581/1083892269.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
41. NTE INEN 2169. (2013). <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACI%C3%93N-DE-MUESTRAS.pdf>
42. Nuñez, R. (2016). Tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel familiar, con Humedales Artificiales de flujo subsuperficial Horizontal, mediante la especie macrófita emergente *Cyperus Papyrus* (Papiro). file:///C:/Users/pc/Downloads/Reyna_Tesis_bachiller_2016.pdf
43. OEFA. (2014). FISCALIZACIÓN AMBIENTAL EN AGUAS RESIDUALES. Organismo de Evaluación y Fizcalización Ambiental. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
44. OMS. (2016). Organizacion Mundial de la Salud, Agua. <http://www.who.int/topics/water/es/>

45. Palta Prado, G. H., & Morales Velasco, S. (2013). PHYTODEPURATION ÁGUAS RESIDUAIS. 11(2), 9.
46. Perdomo, C., & Barbazán, M. (s. f.). Nitrógeno. Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica. <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>
47. Pimentel, H. R. (2017). Las aguas residuales y sus efectos contaminantes [Text]. iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
48. Poveda, A. (2014). “EVALUACIÓN DE ESPECIES ACUÁTICAS FLOTANTES PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIAL Y DE USO AGRÍCOLA PREVIAMENTE CARACTERIZADAS EN EL CANTÓN AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8455/1/BQ%2056%20.pdf>
49. Quinto, M., & Yépez, M. (2018). EVALUACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO CON UN REACTOR AERÓBICO SECUENCIAL DISCONTINUO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS. UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/2303/1/T-ULVR-2100.pdf>
50. Raffo Lecca, E., & Ruiz Lizama, E. C. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Industrial Data, 17(1), 71. <https://doi.org/10.15381/idata.v17i1.12035>
51. Ramos, D. S. (2015). Tema 11 Calidad del agua y su control. 49.
52. Rocha, E. (2010). Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas. Universidad Autónoma de Chihuahua.
53. Rodríguez, L., & Solajo, L. (2016). EL METABOLISMO URBANO EN LA DISTRIBUCIÓN DEL CICLO HÍDRICO Y DE LA SUPERFICIE DEL SUELO EN EL MUNICIPIO DE ZIPAQUIRÁ. Universidad Católica de Colombia.
54. Rodríguez, S., C., G., Martinez, & L., C. (2016). Variaciones estacionales de las concentraciones de fosfatos y nitratos. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/agr/article/view/1174/965>
55. Salazar, J. L. P. (2015). MAGISTER EN CIENCIAS DE AGROECOLOGIA MENCIÓN GESTIÓN AMBIENTAL. 109.
56. Sánchez, Ó., Herzing, M., Peters, E., Márquez, R., & Zambrano, L. (2012). PERSPECTIVAS SOBRE CONSERVACION DE ECOSISTEMAS ACUATICOS DE

- MEXICO. Instituto Nacional de Mexico. Libro Ecosistemas acuáticos Oscar Sanchez et al 2007
57. Santana, X., & Santos, J. (2016). EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) ex – situ EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS, CASO DE ESTUDIO RÍO MUERTO, CANTÓN MANTA.
 58. Sawyer, C., McCarthy, P., & Parkin, G. (2011). Química para ingeniería ambiental. Cuarta edición.
 59. Soler, C., Crespi, R., Soler, E., & Pugliese, M. (2018). Evaluación de humedales artificiales de flujo libre superficial con macrófitas. Performance of free water surface flow constructed wetland with floating aquatic macrophytes. <https://doi.org/10.4995/Ia.2018.8596>
 60. Soto, J. (2016). Estudio de aplicabilidad de humedales artificiales para la mejora de la calidad de las aguas en los meandros abandonados del río Segura. Universitat Politècnica de València.
 61. UNESCO. (2016). Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244103/PDF/244103spa.pdf.multi>
 62. Valdés, T. V., & Cano-Santana, Z. (2005). Ecología y medio ambiente. Pearson Educación. <https://books.google.com.ec/books?id=oHJqJzvVdQoC>
 63. van der Valk, A. G. (2012). The Biology of Freshwater Wetlands. OUP Oxford. <https://books.google.com.ec/books?id=Vp2jAzTj0sQC>
 64. Vargas, J. C., Leonard, I., Uvidia, H., Torres, V., Andino, M., & Benítez, D. (2014). El crecimiento del pasto *Panicum maximum* vs Mombaza en la Amazonía Ecuatoriana— Growing grass *Panicum maximum*. 8.
 65. Velásquez, N. C. (2019). EFICIENCIA DEL BERRO (*nasturtium officinale*) PARA LA REMOCION DE NITRATOS Y FOSFATOS EN AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS- SAN ANTÓN 2018. 101.
 66. Zapata, G. L. V., Orozco, L. H., Kintz, J. R. C., Castaño, A. G., & Zea, D. A. C. (2012). METODOLOGÍA PARA DETERMINAR NIVELES DE EUTROFIZACIÓN EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS. 17.

ANEXOS

Anexo 1. Hoja de vida del tutor

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI****DATOS INFORMATIVOS PERSONAL DOCENTE****DATOS PERSONALES**

APELLIDOS: ILBAY YUPA
NOMBRES: MERCY LUCILA
ESTADO CIVIL: CASADO
CEDULA DE CIUDADANÍA: 0604147900
NÚMERO DE CARGAS FAMILIARES: 1
LUGAR Y FECHA DE NACIMIENTO: Archidona. 30 octubre 1983
DIRECCIÓN DOMICILIARIA: Hermana Páez y Quijano y Ordoñez
TELÉFONO CONVENCIONAL: **TELÉFONO CELULAR:** 0987533861
EMAIL INSTITUCIONAL: mercy.ilbay@utc.edu.ec
TIPO DE DISCAPACIDAD: NINGUNA
DE CARNET CONADIS:

**ESTUDIOS REALIZADOS Y TÍTULOS OBTENIDOS**

NIVEL	TÍTULO OBTENIDO	FECHA DE REGISTRO EN EL CONESUP	CÓDIGO DEL REGISTRO CONESUP
TERCER	Ingeniera Agrónoma	2011-05-20	1018-15-86064242
CUARTO	Magister en Riego y Drenaje Cand. Doctoris Philosophi en Recursos Hídricos	2015-07-14	1018-15-86064242

HISTORIAL PROFESIONAL**Docente**

Nº	CURSOS - MATERIAS	INSTITUCIÓN	DE MES-AÑO	A MES-AÑO
1	Hidrología Manejo de Integrado de Recursos Hídricos Riego y drenaje Diseño Experimental	UTC-CAREM- Ingeniería de Medio Ambiente y Agronómica	Junio 2017	Presente fecha
2	Hidrología Riego y drenaje Diseño de Sistemas de Riego Prácticas agrícolas	ESPOCH-FRN-Ingeniería Agronómica	Marzo 2014	Febrero 2015

Profesional

Nº	EMPRESA-INSTITUCIÓN	POSICIÓN	DE MES-AÑO	A MES-AÑO
1	MAGAP-DR2RD	Analista de Riego y drenaje	11/2016	06/2017
2	SENAGUA	Analista de Estudios y Proyectos de Riego y Drenaje	3/2015	08/2015
3	GOBIERNO AUTÓNOMO DE LA PROVINCIA CHIMBORAZO	Técnica especialista de Hidrología-Riego	04/2011	12/2013
4	INIAP/Programa Nacional de Fruticultura	Técnica	03/2010	02/2011

Consultoría en general

Nº	NOMBRE DEL PROYECTO	INSTITUCIÓN	AÑO
1	"Estudio Hidrológico de la cuenca alta del Río Guaya, para el sistema de riego del directorio de aguas de la comunidad la Moya - parroquia Guasuntos- cantón Alausí-provincia de Chimborazo"	GAD de Chimborazo	2016
2	Estudio Hidrológico del Sistema de Riego Chambo-Guano	Junta General De Usuarios Del Sistema De Riego Chambo-Guano- Chimborazo	2012
3	Economía agraria con la capacitación especializada en análisis de rentabilidad agropecuaria	H. Gobierno Provincial de Tungurahua	2012

.....

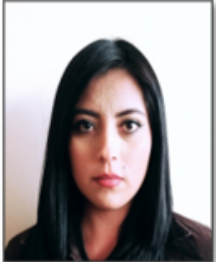
Firma

Anexo 2. Hojas de vida de los autores

HOJA DE VIDA

❖ DATOS PERSONALES

NOMBRES:	MARÍA JOSÉ		
APELLIDOS:	MORALES SÁNCHEZ		
Lugar y fecha nacimiento:	AMBATO 19 de diciembre 1995		
Cédula de Ciudadanía:	1805330238		
Estado civil:	SOLTERA		
Dirección Domiciliaria:	Macasto		
Celular:	0998014066	E-mail	majo-ms2019@hotmail.com



❖ FORMACIÓN ACADÉMICA

SUPERIOR

INSTITUCIÓN	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI-UTC		
Carrera:	EGRESADA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE		
Nivel:	Tercer Nivel	Fecha:	Julio 2019

❖ SEMINARIOS Y CURSOS ASISTIDOS

NOMBRE	LUGAR Y FECHA
Primer simposio “Ecosistema Forestal y su incidencia en el Cambio Climático”	Ambato, Noviembre 2019
Vinculación con la Sociedad referente a Educación Ambiental, Mulaló	Latacunga, Abril-Agosto 2018
Seminario Nacional “Ambiental”	Latacunga, Abril 2018
Curso- Taller de “Manejo de Instrumentación Ambiental”	Latacunga, Abril 2018
Seminario “Climate Change Learning”	Latacunga, Mayo 2018


❖ PRÁCTICAS PRE-PROFESIONALES REALIZADAS

H. GOBIERNO PROVINCIAL DE TUNGURAHUA – DIRECCIÓN DE GESTIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

HOJA DE VIDA

❖ DATOS PERSONALES

NOMBRES:	ERICK GABRIEL		
APELLIDOS:	ARAGÓN LÓPEZ		
Lugar y fecha nacimiento:	Quito, 15 de noviembre de 1994		
Cédula de Ciudadanía:	1721863205		
Estado civil:	SOLTERO		
Dirección Domiciliaria:	El Beaterio		
Celular:	0992571518	E-mail	aragon.erick3205@utc.edu.ec



❖ FORMACIÓN ACADÉMICA

SUPERIOR

INSTITUCIÓN	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI-UTC		
Carrera:	INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE		
Nivel:	Tercer Nivel	Fecha:	Febrero 2020

❖ SEMINARIOS Y CURSOS ASISTIDOS

NOMBRE	LUGAR Y FECHA
Taller de "SEGUIMIENTO Y CONTROL A ESTACIONES DE SERVICIO"	Ambato, Agosto 2018
Seminario Taller "CÓDIGO ORGÁNICO DE AMBIENTE: ANÁLISIS COMPARATIVO CON LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL VIGENTE"	Quito, Marzo 2018
1 ^{er} Foro Ambiental de Tungurahua "PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA CON ENFOQUE DE CUENCA HIDROGRÁFICA"	Ambato, Noviembre 2016
Taller "GESTIÓN DE RIESGOS Y DEL TERRITORIO"	Ambato, Agosto 2016

❖ PRÁCTICAS PRE-PROFESIONALES REALIZADAS

Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Latacunga – Dirección de Gestión Ambiental

❖ EXPERIENCIA LABORAL

GAD Municipal del cantón Latacunga - Dirección de Gestión Ambiental
Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP

Anexo 3.



Figura 12. Sistema IFA

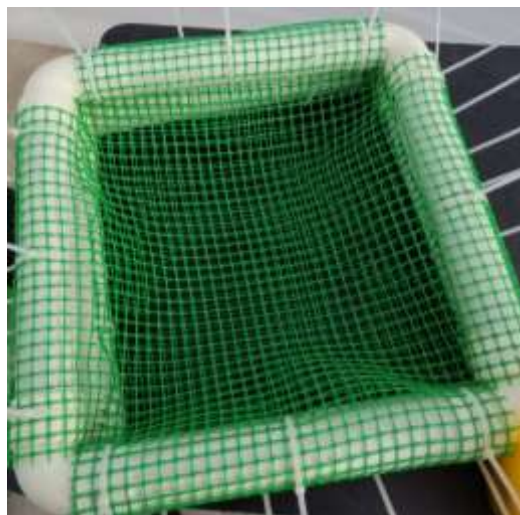


Figura 13. Ensamblado de la matriz flotante



Figura 14. Implementación del sustrato; pomina gruesa, pomina fina y humus



Figura 15. Incorporación del Pasto Guinea al Sistema



Figura 16. Crecimiento de rizoma del Pasto Guinea.



Figura 17. Medida y colocación de los contaminantes



Figura 18. Toma de muestras



Figura 19. Envasado y etiquetado de muestras

Anexo 4

Tabla 12. Crecimiento aéreo y radicular del pasto guinea

Fecha	Tinas	Aéreo (cm)	Radicular (cm)	Total (cm)
30/10/2019	PG-01	63	N/A	63
	PG-02	71	N/A	71
	PG-03	60.5	N/A	60.5
Promedio		64.8	N/A	64.8
14/11/2019	PG-01	106	41	147
	PG-02	122	40	162
	PG-03	101	51	152
Promedio		109.7	44	153.7
5/12/2019	PG-01	112	46	158
	PG-02	129	44	173
	PG-03	110	56	166
Promedio		117	48.7	165.7
5/12/2019	PG-01	119	49	168
	PG-02	135	48	183
	PG-03	115	59	174
Promedio		123	52	175

Elaborado por: Autores, 2020

Tabla 13. correlación entre el crecimiento aéreo, nitratos, DBO5, y pH

	<i>Crecimiento aéreo</i>	<i>NO3</i>	<i>DBO5</i>	<i>PH</i>
Crecimiento aéreo	1			
Nitratos	1	1		
DBO5	1	1	1	
PH	1	1	1	1

Elaborado por: Autores, 2020

Tabla 14. correlación entre el crecimiento radicular, nitratos, DBO5, y pH

	<i>Crecimiento radicular</i>	<i>NO3</i>	<i>DBO5</i>	<i>PH</i>
Crecimiento radicular	1			
Nitratos	1	1		
DBO5	1	1	1	
PH	1	1	1	1

Elaborado por: Autores, 2020

Tabla 15. Correlación entre el tiempo, contaminantes y parámetros de calidad.

	<i>Tiempo</i>	<i>NO3</i>	<i>PO4</i>	<i>DBO5</i>	<i>PH</i>
Tiempo	1	1	N/A	1	1
NO3	1	1	N/A	1	1
PO4	N/A	N/A	1	N/A	N/A
DBO5	1	1	N/A	1	1
PH	1	1	N/A	1	1

Elaborado por: Autores, 2020

ANEXOS 6.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA